



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA



HELENO DOS SANTOS MACEDO

**AMBIENTES CÁRSTICOS EM SERGIPE: VULNERABILIDADE E
INSTRUMENTOS PARA SUA GESTÃO**



Cidade Universitária Prof. José Aloísio de Campos
São Cristóvão – SE, Março de 2019



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA**



HELENO DOS SANTOS MACEDO

**AMBIENTES CÁRSTICOS EM SERGIPE: VULNERABILIDADE E INSTRUMENTOS
PARA SUA GESTÃO**

Tese de Doutorado, submetida ao Programa de Pós-Graduação em Geografia - PPGEO da Universidade Federal de Sergipe - UFS como requisito final para obtenção do título de Doutor em Geografia.

Orientador: Prof. Dr. Hélio Mário de Araújo

Cidade Universitária Prof. José Aloísio de Campos
São Cristóvão/SE, Março de 2019

**FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA CENTRAL
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE**

M141a Macedo, Heleno dos Santos
 Ambientes cársticos em Sergipe: vulnerabilidade e instrumentos
 para sua gestão / Heleno dos Santos Macedo; orientador Hélio
 Mário de Araújo. – São Cristóvão, SE, 2019.
 403 f. : il.

 Tese (doutorado em Geografia) – Universidade Federal de
 Sergipe, 2019.

 1. Geografia física. 2. Carste – Sergipe. 3. Geografia ambiental.
 4. Bacias (Geologia) – Sergipe. 5. Cavernas – Sergipe. 6. Política
 ambiental. 7. Paisagens – Proteção. 8. Solo – Uso. I. Araújo, Hélio
 Mário de, orient. II. Título.

CDU 911.2:551.435.8(813.7)



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA

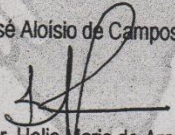


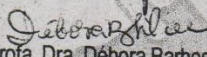
Ata da Sessão de Defesa da Tese de Doutorado


em Geografia de **Heleno dos Santos Macedo**.


Aos vinte e sete dias do mês de março de dois mil e dezenove, com início às oito horas e trinta minutos realizou-se no auditório do Departamento de Geografia - DGE, localizado na Cidade Universitária Prof. José Aloísio de Campos, em São Cristóvão-SE, a sessão pública da defesa de Tese de Doutorado em Geografia de **Heleno dos Santos Macedo**, intitulada: "Ambientes Cársticos em Sergipe: Vulnerabilidade e Instrumentos para sua Gestão". A Banca Examinadora foi presidida pelo Professor Doutor Helio Mario de Araujo, que abriu a sessão pública e passou a palavra para o doutorando proceder à apresentação de sua Tese. Logo após a apresentação, cada membro da Banca Examinadora composta pelos Professores Doutores Débora Barbosa da Silva, Renata Nunes Azambuja, Ronaldo Missura e Manuela Maria Pereira do Nascimento arguíram o candidato, que teve igual período para sua defesa. Na sequência, o Professor Doutor Helio Mario de Araujo, na condição de orientador, teceu comentários sobre a Tese apresentada e destacou a trajetória para a sua construção. Por fim, a banca examinadora reuniu-se para avaliação e decidiu **APROVAR** o candidato. Foram atendidas as exigências da Resolução nº 25/2014/CONEP, que regula a apresentação e defesa de Tese de Doutorado.

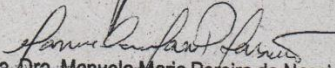
Cidade Universitária Prof. José Aloísio de Campos, 27 de Março de 2019.



Prof. Dr. Helio Mario de Araujo
Orientador e presidente da banca


Profa. Dra. Débora Barbosa da Silva
Examinadora externa


Profa. Dra. Renata Nunes Azambuja
Examinadora externa


Prof. Dr. Ronaldo Missura
Examinador externo


Profa. Dra. Manuela Maria Pereira do Nascimento
Examinadora externa


Heleno dos Santos Macedo
-Doutorando-

*As Minhas Filhas Anne Carlyne Gonçalves
Macedo e Hellen Catharyne Gonçalves Macedo.
Seus sorrisos servem como inspiração para
vencer, a cada dia, as barreiras que surgem
durante a jornada da vida. Obrigado Filhas!! Amo
vocês!*

AGRADECIMENTOS



Agradeço ao meu orientador e Professor Dr. Hélio Mário de Araújo pelo apoio constante, esclarecimento, direcionamentos para atingir a perfeição, ajuda essa, de fundamental importância para meu trabalho e futura carreira acadêmica. Obrigado por estar presente nos momentos bons e ruins, pelos conselhos e pela persistência nos momentos que o ânimo diminuía. A cada etapa tenho aprendido muito e espero contar sempre com esse apoio que me acompanha desde a graduação. Muito obrigado Professor!

O meu muito obrigado ao Professor Dr. Luiz Eduardo Panisset Travassos pelo apoio, fornecimento de materiais, momentos de orientação e incentivo à realização desse trabalho. Também agradeço pela paciência e humildade em me auxiliar no processo de imersão nos estudos de Carstologia na qual és uma das maiores referências no país. Muito obrigado!

Agradeço as professoras Dr^a Manuela Maria Pereira do Nascimento, Dr^a Débora Barbosa da Silva, Dr^a Renata Nunes Azambuja e ao professor Dr. Ronaldo Missura por comporem a banca avaliadora desse trabalho.

Agradeço aos meus pais, Ronaldo Batista Macedo e Josefa Lenita Santos Macedo; meus irmãos, Helison Santos Macedo e Henife Santos Macedo Oliveira pelo apoio de sempre durante essa caminhada. Agradeço as minhas filhas Anne Carlyne Gonçalves Macedo e Hellen Catharyne Gonçalves Macedo pelo carinho e compreensão por minha ausência durante esse período. Agradeço a Dayse Fontes Gonçalves Macedo, pelo apoio e compreensão durante todo o tempo destinado à construção desse trabalho.

Agradeço aos meus amigos David Carvalho Cardoso da Silva e Rafael Moreira Sousa por toda a dedicação nas atividades de campo realizadas durante 45 dias. Vocês foram incríveis, muito obrigado meus amigos!!! Agradeço também a Christiane Ramos Donato, a minha “mãe” na espeleologia, obrigado por tudo!!! Sou grato também aos meus amigos Mário Dantas, Ivo Matias Campos, Alizete dos Santos, Wesley Alves dos Santos, Antônio Santiago, Davi Seixas, Thiago Nunes e Eline Barreto. E ainda agradeço aos amigos do Espeleonordeste.

E, por fim, quero agradecer a uma pessoa que conseguiu tornar realidade esse trabalho, que segurou nas minhas mãos, estimulou e incentivou a todo momento para que eu pudesse, enfim, concluí-lo. Pessoa incansável, guerreira, determinada, que dedicou horas e mais horas ao longo de três meses, quando não havia mais forças, me auxiliando em todas as etapas. Sempre me encorajando a não desistir, acreditando no meu potencial, acreditando na contribuição que o presente trabalho trará a ciência sergipana. Muito Obrigado, Luana Pereira Lima, por fazer parte da minha vida, hoje e sempre... simples assim! Obrigado por tudo!!!

RESUMO

O processo de uso e ocupação do solo em paisagens cársticas vem ocorrendo de forma desordenada em todos os lugares. Em Sergipe, essa situação vem colocando as paisagens cársticas em ameaça. As paisagens cársticas levadas a efeito na investigação, referem-se ao Carste Tradicional Bacia Sergipe, localizado na Província Costeira e Margem Continental e Carste Tradicional Olhos d'Água/Frei Paulo o, inserido na Faixa de Dobramentos Sergipana no Domínio Vaza-Barris. O método de análise para fundamentos da pesquisa, baseou-se na Teoria Geral dos Sistemas, com viés nas abordagens da Teoria do Caos, dos Sistemas Dinâmicos Complexos e da Geometria Fractal. Esse estudo, delineou como objetivo geral analisar os ambientes cársticos em Sergipe, enfatizando a vulnerabilidade natural e ambiental para fins de propostas de planejamento e gestão. Assim, para cumprimento desse e outros objetivos específicos, adotaram-se procedimentos metodológicos distintos, associados a diversas fases, priorizando, portanto, a revisão bibliográfica, o levantamento cartográfico e os trabalhos de campo. Dentre outros resultados, verificou-se que os ambientes cársticos em Sergipe apresentam desenvolvimentos incipientes, devido a fatores relacionados ao tamanho do pacote rochoso, tipo de litologia, ausência de rochas com porosidade secundária devido à falta de ativação tectônica, baixo gradiente do relevo, mudanças climáticas e, sobretudo, pelo metamorfismo dos carbonatos no Carste Olhos d'Água/Frei Paulo e cobertura das rochas carbonáticas no Carste Bacia Sergipe pelo Grupo Barreiras. No que pese ao exocarste sergipano, observou-se que se constitui por feições de lapiás, dolinas, vales cegos e planícies de dissolução (poljés), enquanto o endocarste, acha-se constituído por 171 cavidades autogênicas e com baixo desenvolvimento horizontal, localizadas, em sua maioria, no Carste Olhos d'Água/Frei Paulo. No que se refere ao uso e ocupação do solo, destaca-se a presença de mineradoras de calcário para produção de cimento e corretivo para solo, a prática de pastagem e agricultura, principalmente no Carste Bacia Sergipe. A vulnerabilidade natural e ambiental do Carste Bacia Sergipe é alta, devido a inadequação dos usos e ocupação do solo. Já o Carste Olhos D'Água/Frei Paulo encontra-se em uma situação de vulnerabilidade natural e ambiental muito alta, devido a fatores associado ao uso intensivo para a pastagem provocando a retirada da vegetação e acelerando sua degradação. Em razões finais, frisa-se que nas áreas cársticas, urge a necessidade de medidas preventivas e mitigadoras. Daí a proposição do Zoneamento Ambiental para o carste, com divisão em cinco zonas, a saber: Zonas de Uso Possível para Agropecuária (ZUPA); Zonas de Proteção das Paisagens Cársticas (ZPPC); Zonas de Conservação das Paisagens Cársticas (ZCPC); Zonas de Conservação e Desenvolvimento Urbano (ZCDU) e as Zonas de Uso para Mineração e Indústria (ZUMI). Além disso, fez-se também a proposição da inserção de medidas de conservação do carste nos Planos Diretores e criação de duas áreas de proteção ambiental: APA Taquari Maruim, no Carste Bacia Sergipe e APA Olhos D'Água, no Carste Olhos D'água/Frei Paulo.

Palavras-chave: Geomorfologia cárstica; Carste tradicional e Planejamento Ambiental.

ABSTRACT

The process of land use and occupation in karstic landscapes has occurred in a disorderly way in all places. In Sergipe, this situation is putting the karstic landscapes in threat. The karstic landscapes taken in research, refers to the Karst Traditional Sergipe Basin, located in the Coastal Province and Traditional Continental Margin and Karst Olhos d'Água/ Frei Paulo, inserted in the range of sergipe vaza-barris folds in the field. The method of analysis for foundations of research, based on the general theory of systems, with a bias in the approaches of chaos theory of Complex dynamical systems and fractal geometry. This study, outlined as general objective to analyze the karstic environments in Sergipe, emphasizing the natural and environmental vulnerability for purposes of proposals for planning and management. Thus, for compliance with this and other specific goals, adopted different methodological procedures, associated with the various stages, prioritizing, therefore, the literature review, the cartographical survey and field work. Among other results, it was found that the karstic environments in Sergipe feature incipient developments, due to factors related to the size of the Package, type of lithology, absence of rocks with secondary porosity due to the lack of tectonic activation, low gradient of the topography, climate, and especially by the metamorphism of carbonates in the Karst Olhos d'Água/Frei Paulo and coverage of the carbonatic rocks in the Karst Sergipe Basin by the Barreiras Group. In spite of the exocarste champions, it was observed that constitutes by features of lapiás, sinkholes, blind valleys and plains of dissolution (poljés), while the endocarste is composed by 171 autogênicas cavities and with low horizontal development, located mostly in the Karst Olhos d'Água/ Frei Paulo. In what refers to the use and occupation of the soil, it is highlighted the presence of mining of limestone for cement production and corrective for soil, the practice of grazing and agriculture, mainly in the Karst Sergipe Basin. The natural and environmental vulnerability of Karst Sergipe Basin is high, due to the inadequacy of land use and occupation of the soil. The Karst Olhos D'Água/ Frei Paulo finds itself in a situation of natural and environmental vulnerability very high, due to factors associated with intensive use for grazing causing the withdrawal of vegetation and accelerating its degradation. In the final reasons, stresses that in the karstic areas, there is urgent need for preventive and mitigating measures. Hence the proposition of Environmental Zoning for the karst, with Division into five zones, namely: Areas of possible use for agriculture (ZUPA); zones of protection of KARSTIC Landscapes (ZPPC); Conservation zones of the karstic Landscapes (ZCPC); conservation zones and Urban Development (ZCDU) and areas of use for mining and industry (ZUMI). In addition, became also the proposition of the insertion of measures for the conservation of karst in Master Plans and creation of two areas of environmental protection: APA Taquari Maruim, in the Karst Sergipe Basin and APA Olhos D'Água, in the Karst Olhos D'água/Frei Paulo.

Keywords: Karst Geomorphology; Traditional Karst; Environmental planning.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 – Níveis de abordagem geomorfológica segundo a metodologia de AB' Saber	39
Figura 1.2 – Escala de vulnerabilidade ambiental	43
Figura 1.3 – Áreas Cársticas de Sergipe	59
Figura 1.4 – Carste Tradicional da Bacia Sergipe	61
Figura 1.5 – Carste Tradicional Olhos D'água/Frei Paulo	62
Figura 2.1 – Von Humboldt (A), Ritter (B), Ratzel (C) e La Blache (D) percussores do processo de sistematização da geografia moderna (determinismo e possibilismo)	68
Figura 2.2 – Ludwig Von Bertalanffy, e o seu livro “General System Theory”	70
Figura 2.3 – O atrator de Lorenz	77
Figura 2.4 – Distribuição das regiões cársticas pelo planeta	81
Figura 2.5 – Jovan Cvijic e sua obra <i>Das Karstphenömen</i> (Os Fenômenos Cársticos)	83
Figura 2.6 – Conjuntos Cantor	93
Figura 2.7 – Conjunto canônico de Mandelbrot	94
Figura 2.8 – Dolinas são descritas usando a geometria tradicional (Euclidiana)	96
Figura 2.9 – Formas superficiais do Exocarste	97
Figura 2.10 – Feições do Endocarste	98
Figura 2.11 – Helectites na Gruta da Fumaça. Iraquara, Bahia	99
Figura 2.12 – “quase autossimilaridade” em estalagmite na Gruta da Fumaça. Iraquara, Bahia	100
Figura 2.13 – “quase autossimilaridade” em conduto na Caverna da Torrinha. Iraquara, Bahia	101
Figura 2.14 – Floresta Amazônica. A cobertura vegetal garante o predomínio da pedogênese	106
Figura 2.15 – Semiárido nordestino. Típica situação entre a morfogênese-pedogênese	106
Figura 2.16 – Bacia Paraíba-do-sul. A morfogênese como elemento predominante	107
Figura 3.1 – Seção estrutural da porção centro-sul da Faixa Sergipana	112
Figura 3.2 – Domínio Vaza-Barris	113

Figura 3.3 – Quadro estratigráfico esquemático para os Grupos Estância, Miaba, Vaza-Barris e Macururé, porção centro-sul da Faixa Sergipana	114
Figura 3.4 – Coluna estratigráfica dos Grupos Miaba e Vaza-Barris, Faixa Sergipana, com descrição de litofácies e respectivos sistemas deposicionais	115
Figura 3.5 – Estratigrafia das rochas carbonáticas da Formação Olhos d'Água em Simão Dias	119
Figura 3.6 – Esquema evolutivo das bacias sedimentares do Estado de Sergipe	123
Figura 3.7 – Afloramento da Formação Riachuelo, Membro Maruim em Laranjeiras	125
Figura 3.8 – Digrama de painel mostrando a relação entre os membros Angico, Maruim e Taquari da Formação Riachuelo	126
Figura 3.9 – Coluna estratigráfica composta da Formação Riachuelo	126
Figura 3.10 – Coluna Estratigráfica composta da Formação Cotinguiba	127
Figura 3.11 – Tipos de clima no carste Bacia Sergipe	128
Figura 3.12 – Tipos de clima no carste Olhos D'Água/Frei Paulo	129
Figura 3.13 – Clastos fixados em teto na caverna da Miaba em São Domingos	130
Figura 3.14 – Formas de relevo dos municípios do carste Bacia Sergipe	134
Figura 3.15 – Formas de relevo dos municípios do carste Olhos D'Água/Frei Paulo	135
Figura 3.16 – Trecho convexo da vertente na unidade Tabuleiros Costeiros em Laranjeiras	136
Figura 3.17 – Área pediplanada no entorno do Domo de Simão Dias	136
Figura 3.18 – Vertentes convexas – côncavas em ambiente de vales rasos em Simão Dias ...	137
Figura 3.19 – Bacias Hidrográficas que compõem as paisagens cársticas de Sergipe	138
Figura 3.20 – Trecho meandrante do rio Vaza-Barris no município de São Domingos	140
Figura 3.21 – Tipos e unidades dos aquíferos do carste Bacia Sergipe	142
Figura 3.22 – Tipos e unidades dos aquíferos do carste Olhos D'Água/Frei Paulo	143
Figura 3.23 – Conduto preenchido com águas do aquífero cárstico na Gruta da Fumaça em Lagarto	144
Figura 3.24 – Antiga área coberta pelo cerrado desmatada para uso como pastagem em Macambira	146
Figura 3.25 – Tipo de Cobertura vegetal sobre o carste Bacia Sergipe	147
Figura 3.26 – Tipo de Cobertura vegetal sobre o carste Olhos D'Água/Frei Paulo	148

Figura 3.27 – Resquício de Mata Atlântica na Reserva Mata do Junco em Capela	149
Figura 3.28 – Associações Caducifólias mistas com a Caatinga em Simão Dias	150
Figura 3.29 – Tipo de solos sobre o carste Bacia Sergipe	152
Figura 3.30 – Tipo de Solos sobre o carste Olhos D’Água/Frei Paulo	153
Figura 3.31 – Cultivo do feijão no Planossolo no povoado Caraíba em Poço Verde	155
Figura 4.1 – Caverna do Urubu em Divina Pastora descrita por Branner em 1890	159
Figura 4.2 – Porosidade primária acentuada nas rochas carbonáticas do Carste Bacia Sergipe	160
Figura 4.3 – Dolina de dissolução em Divina Pastora	164
Figura 4.4 – Dolina de colapso em Divina Pastora	165
Figura 4.5 – Dolinas na área cárstica tradicional Bacia Sergipe	166
Figura 4.6 – Dolina com ressurgência no município de Laranjeiras	167
Figura 4.7 – Dolina de dissolução do tipo bacia em Laranjeiras	168
Figura 4.8 – Modelo de dolina 01 de dissolução em Divina Pastora	170
Figura 4.9 – Dolina de colapso em Divina Pastora permite o acesso a Caverna Vassouras ...	171
Figura 4.10 – Modelo de dolina 02 de colapso em Divina Pastora	171
Figura 4.11 – Dolina de dissolução em Maruim	172
Figura 4.12 – Modelo de dolina 03 de colapso em Maruim	173
Figura 4.13 – Localização dos campos de lapiás no carste tradicional Bacia Sergipe	174
Figura 4.14 – Lapiás em estágio embrionário no município de Divina Pastora	175
Figura 4.15 – Cristas com alguns milímetros e/ou centímetros em Lapiás em Divina Pastora	176
Figura 4.16 – Lapiás descoberta, parcialmente, com evidências de processos erosivos distintos	176
Figura 4.17 – Vale cego usado como área de pastagem em Laranjeiras	177
Figura 4.18 – Vertentes convexas-côncavas em vale cego no município de Laranjeiras	178
Figura 4.19 – Ressurgência na Gruta dos Aventureiros em Laranjeiras	179
Figura 4.20 – Evolução geológica da Faixa de Dobramentos Sergipana no espaço e no tempo	181

Figura 4.21 – Dolina de dissolução em Pinhão	185
Figura 4.22 – Dolinas no Carste Olhos D'Água /Frei Paulo	186
Figura 4.23 – Dolina de Colapso que dá acesso a Furna do Bié em Simão Dias	187
Figura 4.24 – Dolina de Colapso que dá acesso a Caverna da Fumaça em Lagarto	188
Figura 4.25 – Pórtico de acesso a Furna das 200 Tarefas em São Domingos	188
Figura 4.26 – Blocos empilhados na Furna das 200 Tarefas em São Domingos	189
Figura 4.27 – Campos de Lapiás no Carste Olhos D'Água /Frei Paulo	191
Figura 4.28 – Campos de Lapiás no no sistema cárstico do Maciço Caraíba em Poço Verde	192
Figura 4.29 – Padrões paralelos, horizontais e verticais das canículas em Lapiás no sistema cárstico do Maciço Caraíba em Poço Verde	193
Figura 4.30 – Campo de lapiás com intercalações de quartzo em Pinhão	194
Figura 4.31 – Lapiás com caneluras expressivas em propriedade agrícola no município de Pinhão	195
Figura 4.32 – Campo de lapiás em estágio embrionário no Maciço Caraíba – Poço Verde ...	196
Figura 4.33 – Localização do Poljé Jaci	197
Figura 4.34 – Poljer Jaci utilizado para o cultivo do Milho em Poço Verde	199
Figura 4.35 – Poljer Jaci utilizado para o cultivo do feijão em Poço Verde	199
Figura 5.1 – Padrões planimétricos de cavernas	207
Figura 5.2 – Cavernas do Carste Tradicional Bacia Sergipe	210
Figura 5.3 – Cavernas do carte Tradicional Olhos D'Água / Frei Paulo	211
Figura 5.4 – Teto da Toca da Raposinha com espeleotemas do tipo helectites e estalactites	213
Figura 5.5 – Cristais de aragonita no espeleotema na Toca da Raposa em Simão Dias	214
Figura 5.6 – Espeleotemas (estalactites, estalagmites e cortinas) na toca da Raposinha em Laranjeiras	215
Figura 5.7 – Estalagmites recobertas por carbonato de cálcio na Toca da Raposinha em Laranjeiras	216
Figura 5.8 – Colunas na Gruta da Miaba em São Domingos	217
Figura 5.9 – Escorrimento de CaCO_3 na Gruta da Miaba em São Domingos	218
Figura 5.10 – Cúpulas no teto da caverna de Pedra Branca em Maruim	219

Figura 5.11 – Intercalações de sílica entre os carbonatos da Formação Olhos D'Água provocando processos de erosão diferencial na Toca da Raposa em Simão Dias	220
Figura 5.12 – Mapa topográfico da Toca do Outro Lado em Laranjeiras	222
Figura 5.13 – Mapa topográfico da Caverna do Urubu em Divina Pastora	223
Figura 5. 14 – Mapa Topográfico do Abismo de Simão Dias	225
Figura 5. 15 – Abismo de Simão Dias	226
Figura 5.16 – Acesso ao Abismo de Simão Dias	226
Figura 5.17 – Evidências de desenvolvimento por fluxos na Toca da Raposa	227
Figura 5.18 – <i>Scallops</i> nas paredes da Toca da Raposa, evidenciando turbilhonamento no processo de escoamento subterrâneo	228
Figura 5.19 – Mapa Topográfico da Caverna Toca da Raposa em Simão Dias	229
Figura 5.20 – Sistema Cárstico do Maciço Caraíba em Poço Verde	230
Figura 5.21 – Sedimentos de tamanhos diversos no piso da Furna dos Três Caverneiros evidenciando processo de paragênese	231
Figura 5.22 – Carste não-tradicional de Sergipe	233
Figura 5.23 – Mergulho das camadas do metarenito na Gruta dos Enganados na Serra de Itabaiana	235
Figura 5.24 – Mapa Topográfico da Gruta do Encantado	236
Figura 5.25 – Entrada da Gruta do Encantado	237
Figura 5.26 - Processos de erosão diferencial na Gruta do Encantado modelam as camadas do metarenito criando novos espaços vazios no material rochoso	237
Figura 5.27 – Escorrimento do processo de dissolução do metarenito que deu origem a cortinas serrilhadas na gruta do Encantado	238
Figura 5.28 – Coraloides nas camadas do metarenito na gruta do Encantado	239
Figura 5.29 – Evidência de estratificação cruzada no abrigo do Cândido em Canindé	240
Figura 5.30 – Afloramento de filito em trecho de canal fluvial em Canhoba	241
Figura 5.31 – Abrigo Morador em Canhoba	242
Figura 5.32 – Lapiás formadas no arenito da Formação Tacaratu em Canindé de São Francisco	243
Figura 5.33 – Gruta do Rei em Canindé do São Francisco	244
Figura 5.34 – Coraloides na Gruta do Rei em Canindé do São Francisco	245

Figura 5.35 – Pinturas rupestres no Abrigo Cândido na Fazenda Mundo Novo	245
Figura 5.36 – Pintura rupestres no Abrigo Pedra do Diogo em Gararu	246
Figura 5.37 – Coraloídes no Abrigo do Diogo em Gararu	247
Figura 5.38 – Estratificação dos arenitos da Formação Palmares no Município de Tobias Barreto	248
Figura 5.39 – Toca dos Palmares no Município de Tobias Barreto	249
Figura 6.1 – Área Cárstica Bacia Sergipe - Uso e Ocupação da Terra – 2018	252
Figura 6.2 – Usina São José do Pinheiro Ltda no município de Laranjeiras	257
Figura 6.3 – Usina Gentil Barbosa no município de Nossa Senhora das Dores	258
Figura 6.4 – Extração de petróleo campo de Mato Grosso no município de Divina pastora	259
Figura 6.5 – Unidade de Produção da Votorantim Cimentos em Laranjeiras/SE	260
Figura 6.6 – Itaguassu Agroindústria S/A (NASSAU) em Nossa Senhora do Socorro/SE	261
Figura 6.7 – Unidade de extração de potássio da Vale Taquari/Vassouras em Rosário do Catete/SE	262
Figura 6.8 – Unidade da FAFEN em Laranjeiras/SE	263
Figura 6.9 – Zoneamento do Distrito Industrial de Nossa Senhora do Socorro/SE	264
Figura 6.10 – Unidade da Yasaki em Nossa Senhora do Socorro/SE	265
Figura 6.11 – Entrada da Unidade de Conservação Mata do Junco – Capela/SE	268
Figura 6.12 – Prática da cultura da cana-de-açúcar no município de Japaratuba/SE	270
Figura 6.13 – Lavra de Calcário no Povoado Muçuca em Laranjeiras/SE	275
Figura 6.14 – Lavra de argila em Siriri/SE	276
Figura 6.15 – Aterro sanitário da Estre Ambiental em Rosário do Catete/SE	279
Figura 6.16 – Dolina de colapso usada para descarte de resíduos sólidos – Pinhão/SE	280
Figura 6.17 – Carste Tradicional Olhos D’água/Frei Paulo – 2018	281
Figura 6.18 – Centro comercial do município de Lagarto	286
Figura 6.19 – Unidade Industrial IVL – Produção e envasamento das linhas de molho	288
Figura 6.20 – Área de Lavra da Cal Trevo no município de Simão Dias	289
Figura 6.21 – Unidade da Dakota Calçados em Simão Dias	291

Figura 6.22 – Extração de mármore em Simão Dias/SE	298
Figura 6.23 – Metacalcário dolomítico intercalado com metapilitos em Simão Dias/SE	298
Figura 6.24 – Abismo de Simão Dias (furna do “Dorinha”)	301
Figura 6.25 – Barragem Dionísio de Araújo Machado, em Lagarto/SE	302
Figura 6.26 – Resíduos sólidos descartados em dolina - Simão Dias/SE	303
Figura 7.1 – Composição litológica. Área Cárstica Bacia Sergipe	307
Figura 7.2 – Grau de Estabilidade da litologia. Área Cárstica Bacia Sergipe	308
Figura 7.3 – Declividade. Área Cárstica Bacia Sergipe	309
Figura 7.4 – Grau de estabilidade do relevo. Área Cárstica Bacia Sergipe	311
Figura 7.5 – Grau de estabilidade da Hidrogeologia. Área Cárstica Bacia Sergipe	314
Figura 7.6 – Grau de estabilidade dos solos. Área Cárstica Bacia Sergipe	316
Figura 7.7 – Grau de estabilidade das coberturas vegetais. Área Cárstica Bacia Sergipe	318
Figura 7.8 – Grau de estabilidade em relação ao uso e ocupação do solo	322
Figura 7.9 – Carta de Vulnerabilidade Natural. Carste Bacia Sergipe	324
Figura 7.10 – Carta de Vulnerabilidade Ambiental. Carste Bacia Sergipe	326
Figura 7.11 – Grau de Estabilidade da litologia. Área Cárstica Olhos D’Água/Frei Paulo	329
Figura 7.12 – Declividade. Área Cárstica Olhos D’Água/Frei Paulo	330
Figura 7.13 – Grau de estabilidade do relevo. Área Cárstica Olhos D’água/Frei Paulo	332
Figura 7.14 – Grau de estabilidade da Hidrogeologia. Área Cárstica Olhos D’água/Frei Paulo	334
Figura 7.15 – Grau de estabilidade dos solos. Área Cárstica Olhos D’água/Frei Paulo	335
Figura 7.16 – Grau de estabilidade das coberturas vegetais. Área Cárstica Olhos D’Água/Frei Paulo	337
Figura 7.17 – Grau de estabilidade da condição do Clima/Precipitação. Área Cárstica Olhos D’Água/Frei Paulo	338
Figura 7.18 – Grau de estabilidade em relação ao uso e ocupação do solo. Área Cárstica Olhos D’Água/Frei Paulo	340
Figura 7.19 – Carta de Vulnerabilidade Natural. Carste Olhos D’Água/Frei Paulo	342
Figura 7.20 – Carta de Vulnerabilidade Ambiental. Carste Olhos D’Água/Frei Paulo	344

Figura 7.21 – Extração ilegal de metacalcário no município de Simão Dias	345
Figura 7.22 – Área de extração de calcário para a fabricação de cal em Simão Dias	346
Figura 7.23 – Cultura do milho nas bordas do Domo de Simão Dias	347
Figura 7.24 – Espeleotemas destruídos em cavidade em Laranjeiras	352
Figura 7.25 – Descarte de Resíduos Sólidos em dolina no município de Simão Dias	354
Figura 8.1 – Zoneamento Ambiental do Carste Tradicional em Sergipe	361
Figura 8.2 – Prática da cultura do milho no município de Simão Dias	362
Figura 8.3 – Prática da cultura do Feijão no município de Poço Verde	363
Figura 8.4 – Processo ativo de deposição do carbonato de cálcio recobrindo uma antiga cortina. Furna do Flecheiro em São Domingos/SE	365
Figura 8.5 – Resíduos Sólidos descartados em dolina no município de Pinhão/SE	365
Figura 8.6 – Fauna cavernícola constituída principalmente por morcegos frugíveros na Caverna de Pedra Branca em Maruim/SE	367
Figura 8.7 – Extração clandestina de calcário no município de Laranjeiras/SE	368
Figura 8.8 – Unidade da FAFEN nas margens do rio Contiguiba no município de Laranjeiras/SE	370
Figura 8.9 – Faixas urbanas sobre o Carste Bacia Sergipe	374
Figura 8.10 – Faixas urbanas sobre o Carste Olhos d'água /Frei Paulo	375
Figura 8.11 – Áreas de Proteção Ambiental do Carste Tradicional Sergipe	379

LISTA DE TABELAS

Tabela 1.1 – Pesos calculados para cada fator de Vulnerabilidade Natural	45
Tabela 1.2 – Média aritmética para as classes de Vulnerabilidade Natural	45
Tabela 1.3 – Pesos calculados para cada fator de Vulnerabilidade Ambiental	46
Tabela 1.4 – Média aritmética para as classes de Vulnerabilidade Ambiental	46
Tabela 1.5 – Classificação de Impactos em áreas cársticas	48
Tabela 4.1 – Localização das dolinas no Carste Bacia Sergipe	163
Tabela 4.2 – Localização dos campos de Lapiás no Carste Bacia Sergipe	173
Tabela 4.3 – Localização das dolinas no Carste Olhos d’ Água/Frei Paulo	184
Tabela 4.4 – Localização dos campos de Lapiás no Carste Carste Olhos D’Água /Frei Paulo	190
Tabela 6.1 – Carste Tradicional da Bacia Sergipe – População total, urbana e rural – 2010	253
Tabela 6.2 – Carste Tradicional da Bacia Sergipe – Crescimento Populacional – 2018	254
Tabela 6.3 – Carste Tradicional da Bacia Sergipe - Taxa de ocupados por setores – 2018	255
Tabela 6.4 – Carste da Bacia Sergipe – Participação dos setores na composição do PIB – 2018	256
Tabela 6.5 – Carste Tradicional da Bacia Sergipe. Utilização das Terras, 2017	267
Tabela 6.6 – Carste Tradicional da Bacia Sergipe - Produção dos Principais Produtos agrícolas – 2017	269
Tabela 6.7 – Carste Tradicional Bacia Sergipe – Produção da Pecuária – 2017	271
Tabela 6.8 - Carste Tradicional Olhos D’água/Frei Paulo – População total, urbana e rural – 2010	283
Tabela 6.9 - Carste Tradicional Olhos D’Água/Frei Paulo – Crescimento Populacional – 2010	283
Tabela 6.10 – Carste Tradicional Olhos D’Água/Frei Paulo – evolução da Taxa de Mortalidade Infantil – 2010	284
Tabela 6.11 - Carste Tradicional Olhos D’Água/Frei Paulo - Taxa de ocupados por setores – 2010	285
Tabela 6.12 - Carste da Bacia Sergipe – Participação dos setores na composição do PIB – 2014	285
Tabela 6.13 - Carste Tradicional Olhos D’Água/Frei Paulo. Utilização das Terras, 2017	292

Tabela 6.14 - Carste Tradicional da Olhos D' Água/Frei Paulo – Produção dos Produtos agrícolas – 2017	294
Tabela 6.15 - Carste Tradicional Olhos D' Água/Frei Paulo – Produção da Pecuária – 2017	295
Tabela 7.1 – Valores de estabilidade para litologia	306
Tabela 7.2 - Valores de estabilidade de acordo com a declividade	310
Tabela 7.3 – Valores de estabilidade para as Unidades do Relevo	310
Tabela 7.4 – Valores de estabilidade para Tipos de Aquíferos	313
Tabela 7.5 – Valores de estabilidade para tipo de solo	315
Tabela 7.6 – Valores de estabilidade para cobertura vegetal	317
Tabela 7.7 – Escala de erosividade da chuva	320
Tabela 7.8 – Valores de estabilidade em relação ao uso e ocupação do solo	321
Tabela 7.9 – Vulnerabilidade Natural do Carste Bacia Sergipe	323
Tabela 7.10 – Vulnerabilidade Ambiental do Carste Bacia Sergipe	325
Tabela 7.11 – Valores de estabilidade para litologia	328
Tabela 7.12 – Valores de estabilidade de acordo com a declividade	331
Tabela 7.13 – Valores de estabilidade para as Unidades do Relevo	331
Tabela 7.14 – Valores de estabilidade para Tipos de Aquíferos	333
Tabela 7.15 – Valores de estabilidade para tipo de solo	335
Tabela 7.16 – Valores de estabilidade para cobertura vegetal	336
Tabela 7.17 – Valores de estabilidade em relação ao uso e ocupação do solo	339
Tabela 7.18 – Vulnerabilidade Natural do Carste Olhos D' Água/Frei Paulo	341
Tabela 7.19 – Vulnerabilidade Ambiental do Carste Olhos D' Água/Frei Paulo	343
Tabela 8.1 – Total da população no Carste Bacia Sergipe	372
Tabela 8.2 – Total da população no Carste Olhos d' água /Frei Paulo	373

LISTA DE QUADROS

Quadro 1.1 – Avaliação da estabilidade das categorias morfodinâmicas	43
Quadro 1.2 – Indicadores utilizados para KDI (<i>Karst sturbance Index</i>)	47
Quadro 1.3 – A: Critérios intrínsecos ao ambiente em estudo	52
Quadro 1.4 – B: Critérios relacionados com o potencial da área	53
Quadro 1.5 – C: Critérios relacionados com a necessidade de proteção da área	53
Quadro 1.6 – A: Escala com valores para os critérios intrínsecos ao ambiente em estudo	53
Quadro 1.7 - B: Escala com valores para os critérios relacionados com o potencial da área ...	54
Quadro 1.8 – C: Escala com valores para os critérios relacionados com a necessidade de proteção da área	55
Quadro 2.1 – Fluxo de matéria e energia para sistemas cársticos em formação de dolinas	88
Quadro 3.1 – Litofáceis e ambientes de deposição do Grupo Simão Dias	121
Quadro 5.1 – Localização das Cavernas do Carste Tradicional em Sergipe	203
Quadro 5.2 – Localização das cavidades do carste não-tradicional em Sergipe	234
Quadro 6.1 – Área de extração mineral no Carste Tradicional da Bacia Sergipe – 2018	273
Quadro 6.2 – Descrição dos produtos da Cal Trevo	290
Quadro 6.3 – Área de extração mineral no Carste Tradicional Olhos D’água/Frei Paulo – 2018	299
Quadro 7.1 – Classificação do Grau de relevância do Carste Bacia Sergipe	349
Quadro 7.2 – Classificação do Grau de relevância do Carste Olhos D’água /Frei Paulo	350
Quadro 7.3 – Indicadores e pontuação atribuída para o KDI do Carste Bacia Sergipe	351
Quadro 7.4 – Indicadores e pontuação atribuída para o KDI do Carste Olhos d’Água/Frei Paulo	354
Quadro 7.5 – A: Escala com valores para os critérios intrínsecos ao Carste Bacia Sergipe ...	355
Quadro 7.6 - B: Escala com valores para os critérios relacionados com o potencial da área do Carste Bacia Sergipe	356
Quadro 7.7 – C: Escala com valores para os critérios relacionados com a necessidade de proteção da área do Carste Bacia Sergipe	356
Quadro 7.8 – A: Escala com valores para os critérios intrínsecos ao Carste Olhos d’Água/Frei Paulo	357

Quadro 7.9 - B: Escala com valores para os critérios relacionados com o potencial da área do Carste Olhos d'Água/Frei Paulo	357
Quadro 7.10 – C: Escala com valores para os critérios relacionados com a necessidade de proteção da área do Carste Olhos d'Água/Frei Paulo	358
Quadro 8.1 – Cavidades naturais distribuídas em Unidades de Conservação	378

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ACNT – Área Cárstica Não-Tradiciona

ACT – Área Cárstica Tradiciona

ADEMA – Administração Estadual do Meio Ambiente

AHP – African Humidity Period

ANA – Agência Nacional de Águas

APA – Área de Proteção Ambiental

BDAM – Barragem Dionísio de Araújo Machado

BH – Bacia Hidrográfica

CECAV – Centro Nacional de Pesquisa e Conservação de Cavernas

CGR – Centro de Gerenciamento de Resíduos

CIMESA – Votorantim Cimentos Sergipe

CODISE – Companhia de Desenvolvimento Industrial e de Recursos Minerais de Sergipe

COHIDRO – Companhia de Desenvolvimento de Recursos Hídricos e Irrigação de Sergipe

COLE – Coefficient of Linear Expansion

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente

CPRM – Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais ou Serviço Geológico do Brasil

DESO – Companhia de Saneamento de Sergipe

DNPM – Departamento Nacional de Produção Mineral

EC – Estatuto da Cidade

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

EMDAGRO (Empresa de Desenvolvimento Agrário de Sergipe

ENVI – Environment for Visualizing Images

ESEC – Estação Ecológica

ESRI – Environmental Systems Research Institute

FAFEN – Fábrica de Fertilizantes Nitrogenados

FIES – Federação das Indústrias de Sergipe

FLONA – Floresta Nacional

GEFEK – Gerência Geral de Fertilizantes

GPS – Global Positioning System

IBAMA – Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

ICMBIO – Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade

IGC/USP – Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo

INCRA – Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária

INMET – Instituto Nacional de meteorologia

INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

ISO – International Organization for Standardization

IUCN – International Union for Conservation of Nature

KDI – Karst Disturbance Index

LD – Lack of Data

LIA – Little Ice Age

MCA – Medieval Climate Anomaly

MCE – Maciço Calcário Estremenho

MMA – Ministério do Meio Ambiente

NEB – Nordeste do Brasil

NGRIP – North Greenland Ice Core Project

PARNA – Parque Nacional

PD – Plano Diretor

PEA – População Economicamente Ativa

PETROBRÁS – Petróleo Brasileiro Sociedade Anônima

PETROMISA – Petrobrás Mineral Sociedade Anônima

PGPAC – Planejamento e Gestão de Paisagens Cársticas

PIB – Produto Interno Bruto

PNRH – Programa Nacional de Recursos Hídricos

PNUD – Programa Nacional de Desenvolvimento Humano

PSDI - Programa Sergipano de Desenvolvimento Industrial

OMA – Oscilação Multidecadal do Atlântico

RMG – Roteiro Metodológico para Gestão

RESEX – Reserva Extrativista

SBE – Sociedade Brasileira de Espeleologia

SEDETEC - Secretaria estadual de ciência e tecnologia

SEDURB – Secretaria de Desenvolvimento Urbano

SEINFRA – Secretaria de Estado da Infraestrutura

SEMARH – Secretaria de Estado do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos

SEMISA – Sergipe Minerais Sociedade Anônima

SEPLAG – Secretaria de Planejamento e Gestão do Estado de Sergipe

SIBCS – Sistema Brasileiro de Classificação de Solos

SIMESE – Sistema Meteorológico de Sergipe

SIUP – Serviços Industriais de Utilidade Pública

SMAS – Sistema de Monções da América do Sul

SNIC – Sindicato Nacional das Industrias de Calcário

SNUC – Sistema Nacional de Unidades de Conservação

SUDENE – Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste

TSM – Temperatura da Superfície do Mar

UC – Unidades de Conservação

UNICA – União da Indústria de Cana-de-açúcar

UPGN – Unidade de Processamento de Gás Natural

USJP – Usina São João do Pinheiro

VA Agrop. – Valor Acrescentado de Agropecuária

VA Ind. - Valor Acrescentado de Indústria

VA Serv. - Valor Acrescentado de Serviço

ZCIT – Zona de Convergência Intertropical

ZCEAM – Zona de Conservação do Equilíbrio Ambiental Metropolitano

ZCDA – Zona de Conservação e Desenvolvimento Agrícola

ZCDU – Zonas de Conservação e Desenvolvimento Urbano

ZCDUI – Zona de Conservação e Desenvolvimento Urbano e Industrial

ZCPC – Zonas de Conservação das Paisagens Cársticas

ZCPD – Zona de Conservação do Planalto das Dolinas

ZEE – Zona Ecológico Econômico

ZPPC – Zonas de Proteção das Paisagens Cársticas

ZPPC – Zona de Proteção do Patrimônio Cultural

ZPPNC – Zona de Proteção das Paisagens Naturais do Carste

ZUMI – Zonas de Uso para Mineração e Indústria

ZUPA – Zonas de Uso Possível para Agropecuária

SUMÁRIO

1. Introdução	28
1.1 Justificativa e Relevância da pesquisa	30
1.2 Questões Norteadoras	32
1.3 Hipótese	33
1.4 Objetivos	33
1.4.1 Objetivo Geral	33
1.4.2 Objetivos Específicos	33
1.5 Procedimentos Técnicos e Operacionais	34
1.5.1 Levantamento e análise do acervo bibliográfico e cartográfico	34
1.5.2 Caracterização dos condicionantes físicos e socioeconômicos: dados secundários, trabalhos de campo e análises cartográficas	36
1.5.3 Procedimentos para elaboração da base cartográfica, mapas temáticos e caracterização do carste em Sergipe	41
1.5.4 Definição dos critérios e pesos para avaliação da vulnerabilidade natural e ambiental e procedimentos metodológicos para elaboração das cartas	42
1.5.5 <i>Karst Disturbance Index</i> (KDI) aplicado ao Carste Sergipano	46
1.5.6 Metodologia de classificação do grau de relevância das cavernas	49
1.5.7 Metodologia para Planejamento e Gestão de Paisagens Cársticas (PGPAC)	51
1.6 Delimitação espacial pesquisa	57
1.6.1 Área Cárstica Tradicional da Bacia Sergipe	60
1.6.2 Área Cárstica Tradicional Olhos d'Água/Frei Paulo	60
2. A Paisagem e a sua Natureza Sistêmica: A Teoria do Caos e os Sistemas Dinâmicos não lineares e sua aplicabilidade em estudos de Paisagens Cársticas	64
2.1 A Evolução da Concepção de Paisagem nas Abordagens Geográficas	64
2.2 A Teoria do Caos e os Sistemas Dinâmicos Complexos ou Não Lineares	73
2.2.1 Sistemas Dinâmicos Complexos ou Não Lineares	76
2.3 Carste: Conceitos e Histórico	80
2.4 A Teoria do Caos como suporte Teórico para a compreensão dos Sistemas Cársticos	86

2.5 Geometria Fractal e sua aplicação na descrição de morfologias derivadas de processos de carstificação	91
2.6 A Ecodinâmica/Ecogeografia como modelo integrador para definição e caracterização de unidades de paisagem	101
3. Sistema Ambiental Físico do Carste Sergipano	112
3.1 Domínio Vaza-Barris: caracterização, estratigrafia e sistemas deposicionais dos Grupos Miaba, Simão Dias e Vaza-Barris	112
3.2 Evolução Geológica da Bacia de Sergipe	122
3.2.1 Estratigrafia e sistemas deposicionais das Formações Riachuelo e Contiguiba	124
3.3 O Clima do Nordeste do Brasil durante o Holoceno	127
3.4 Unidades do Relevo em Sergipe	132
3.5 Águas superficiais e Subterrâneas do carste em Sergipe	137
3.6 Cobertura Vegetal e Solos nas áreas cársticas de Sergipe	145
4. Caracterização da Morfologia Cárstica de Sergipe	159
4.1 Evolução do Carste Tradicional da Bacia Sergipe	159
4.2 Feições Exocársticas da Bacia Sergipe	163
4.2.1 Dolinas	163
4.2.2 Lapiás	173
4.2.3 Vales Cegos	177
4.2.4 Sumidouros e ressurgências	179
4.3 Evolução da Carste Tradicional Olhos D'água /Frei Paulo	180
4.4 Feições Exocársticas Olhos d' Água/Frei Paulo	184
4.4.1 Dolinas	184
4.4.2 Lapiás	190
4.4.3 Poljé Jaci	196
5. Geoespeleologia: a evolução das Cavernas em Sergipe	202
5.1 Caracterização dos sistemas de cavernas	202
5.2 Espeleogênese no Carste tradicional da Bacia Sergipe e Olhos d'água/Frei Paulo	209
5.3 Províncias Cársticas de Laranjeiras, Divina Pastora e Simão Dias	221

5.4 Sistema Cárstico do Maciço Caraíba em Poço Verde	228
5.5 O Carste Não-Traducional de Sergipe	232
6. Uso e Ocupação da Terra na Paisagem Cárstica Sergipana	251
6.1 Área Cárstica Tradicional Bacia Sergipe	251
6.1.1 Dinâmica populacional	253
6.1.2 Atividades Econômicas	255
6.2 Área Cárstica Tradicional Olhos d'Água/Frei-Paulo	279
6.2.1 Dinâmica populacional	282
6.2.2 Atividades Econômicas	284
7. Análise da Vulnerabilidade Natural e Ambiental das Áreas do Carste Tradicional de Sergipe	305
7.1 A Vulnerabilidade Natural e Ambiental do Carste em Sergipe	305
7.1.1 A Vulnerabilidade Natural e Ambiental do Carste Bacia Sergipe	305
7.1.1.1 Análise da Vulnerabilidade Natural e Ambiental do Carste Bacia Sergipe	323
7.1.2 Vulnerabilidade Natural e Ambiental do Carste tradicional Olhos d'Água/Frei Paulo	328
7.1.2.1 Análise da Vulnerabilidade Natural e Ambiental do Carste Olhos d'água/Frei Paulo	340
7.2 Metodologia para avaliação da Vulnerabilidade Natural e Ambiental de Paisagens Cársticas	348
7.2.1 Classificação do grau de relevância das cavernas	348
7.2.2 <i>Karst Disturbance Index (KDI)</i> aplicado ao Carste Sergipano	351
7.2.3 Planejamento e Gestão de Paisagens Cársticas (PGPAC)	355
8. Instrumentos para o Planejamento e Gestão de Paisagens Cársticas e suas possíveis aplicações em Sergipe	360
8.1 Zoneamento Ambiental para o carste tradicional em Sergipe	360
8.2 Planos Diretores Ambientais para o carste tradicional em Sergipe	372
8.3 Áreas de Proteção Ambiental para o carste tradicional em Sergipe	376
9. Considerações Finais	383
Referências	388



01. INTRODUÇÃO

A paisagem ao longo dos últimos séculos vem passando por profundas mudanças. Parte dessas mudanças ocorrem devido à necessidade inata aos seres humanos de transformar, adaptar, criar, conviver, relacionar-se, desenvolver-se, buscar novas ferramentas e novos meios de produção.

Essas tendências estimularam a necessidade de se pensar maneiras de equilibrar as atividades socioeconômicas com as potencialidades e restrições ambientais, procurando a manutenção das condições adequadas para a sociedade, na perspectiva de uma busca pelo equilíbrio na relação Homem–Natureza. A análise e os debates relacionados aos aspectos da interface entre os sistemas ambientais e os sistemas socioeconômicos, vêm ganhando força nas últimas décadas do século XX e nos primeiros anos desse novo milênio.

A realização de estudos em dinâmica ambiental, considerando as transformações possíveis em função dos projetos de uso e ocupação do solo nas suas diversas categorias, é uma exigência que se encaixa como medida preliminar em face de qualquer política voltada para o planejamento ambiental com propósitos de corroborar com a gestão territorial.

Diante desses fatos, a abordagem integradora combinando o crescimento econômico e a manutenção das potencialidades ambientais surge como o grande desafio nesse início de século para as mais variadas áreas do conhecimento. O desafio restringe-se, principalmente, ao âmbito aplicativo do conhecimento científico, pois os cenários da realidade sempre se expressaram como entidades estruturadas e funcionais na superfície terrestre (CHRISTOFOLETTI, 1999).

Diante do exposto, torna-se significativo salientar que os problemas ambientais em função da expressividade espacial subjacente, passam, a constituir questões inerentes à análise geográfica. A Geografia, dentro das ciências humanas, ocupa um papel relevante na discussão sobre as questões ambientais, evidenciando a relação sociedade-natureza como aspecto central de suas preocupações.

A Geografia enquanto área do conhecimento científico, deve contribuir sinalizando propostas de soluções ou mitigações aos problemas referentes ao homem e ao ambiente, soluções estas alcançadas através de métodos/metodologias específicas e diversas, tais como, a abordagem sistêmica e a aplicação de instrumentos que visam o planejamento ambiental.

Durante os últimos séculos e os primeiros anos do século XXI, que caracterizam o processo rotulado de “civilizatório”, aspectos negativos marcaram tal processo, trazendo à tona os riscos dos modelos de desenvolvimento econômico adotados, como, a expansão das atividades agropecuárias e mineradoras sobre áreas naturais; a intensa industrialização; conflitos bélicos em escala regional, nacional e mundial; padrões de consumo elevados; crescimento demográfico vertiginoso; grandes aglomerações urbanas; a degradação dos recursos hídricos, solos, ar, entre outros.

Entre as paisagens nas quais tais eventos ocorrem, encontram-se as paisagens desenvolvidas sobre rochas carbonáticas, denominadas de paisagens cársticas. As paisagens cársticas estão entre as mais diversificadas e fascinantes paisagens do mundo. Elas contêm as maiores nascentes e fontes de água subterrânea do planeta, são habitat único para animais raros e suas cavernas preservam material pré-histórico por milênios.

O carste, segundo Karmann (2003), é um tipo de paisagem onde o intemperismo químico, através da dissolução da rocha encaixante, determina as formas de relevo. Porém, esse tipo de paisagem apresenta graus significativos de fragilidade devido ao contexto geológico que possibilitou sua formação. São ambientes facilmente suscetíveis a ocorrência de impactos ambientais e suas águas subterrâneas são facilmente contaminadas.

Ao contrário de outras paisagens, nas quais a maioria dos processos ocorrem sobre a superfície, muitos processos dinâmicos no carste ocorrem no subsolo. Dessa forma, surge uma necessidade de acompanhamento do fluxo das águas subterrâneas e, conseqüentemente, do processo de exploração e estudo de cavernas, que ao invés de serem meras curiosidades geomorfológicas, passam a ser reconhecidas como extensões subsuperficiais da paisagem e de relevância para a manutenção das atividades dos ecossistemas que se desenvolvem sobre ela.

Em Sergipe esse processo não ocorre de maneira diferente, porém, aqui há mais um agravante: a falta de pesquisas e projetos que tenham o carste como objeto de estudo.

Sendo assim, a presente tese de doutorado tem como principal objetivo caracterizar a morfologia cárstica de Sergipe para a construção de um diagnóstico com a finalidade de sugerir instrumentos adequados a realidade local para futuras propostas de planejamento e gestão ambiental, buscando conciliar o uso sustentável do ambiente com a expansão urbana, atividades econômicas e sua conservação para os diversos ecossistemas diretamente relacionados a essa paisagem.

No intuito de contemplar tal proposta, essa tese está estruturada em nove capítulos. O primeiro capítulo contempla a introdução, com a apresentação da problemática e proposta do

estudo; delimitação espacial e relevância da pesquisa; objetivos; questões norteadoras e procedimentos técnicos e operacionais.

No capítulo dois, são abordados os princípios teóricos-metodológicos para estudos da dinâmica ambiental em paisagens cársticas; discussão teórica sobre a visão sistêmica e a teoria dos Sistemas Dinâmicos não-lineares integrando as relações entre Sociedade e Natureza; a Paisagem como categoria geográfica integradora, e a contribuição da Geometria Fractal como modelo para a caracterização de feições externas e internas do Carste.

O terceiro capítulo traz uma caracterização do contexto físico (geologia, clima, geomorfologia, hidrologia, hidrogeologia, cobertura vegetal e pedologia) permitindo a compreensão de como cada um desses elementos interferiram no processo de formação das paisagens cársticas sergipanas.

No quarto e quinto capítulos, através da caracterização e análise das feições do exocarste e endocarste, são descritos os processos de morfogênese, morfoestrutura e morfodinâmica que modelaram a paisagem cárstica de Sergipe.

O capítulo seis traz uma caracterização do uso e ocupação do solo nas áreas do carste tradicional de Sergipe, com foco na dinâmica populacional e nos principais setores de ocupação, tais como, as atividades extrativistas, indústrias e agropecuária.

O capítulo sete traz, a partir de um diagnóstico ambiental integrado da paisagem cárstica de Sergipe, uma análise da vulnerabilidade natural e ambiental desse ambiente.

O capítulo oito, pensando em propostas viáveis para uma gestão eficaz das áreas cársticas sergipanas, discorre sobre alguns instrumentos que auxiliam nas práticas de planejamento ambiental, bem como, identifica a viabilidade de aplicação dessas ferramentas para realidade local.

Por fim, nas considerações finais faz-se uma reflexão sobre a gênese, a situação de vulnerabilidade e as ações mitigadoras possíveis para as paisagens cársticas de Sergipe a partir dos instrumentos propostos no presente trabalho.

1.1 Justificativa e Relevância da Pesquisa

O pioneirismo desse trabalho ocorre por se tratar da primeira pesquisa acadêmica em nível de mestrado e doutorado na Pós-graduação em Geografia e nos demais cursos de pós-graduação da Universidade Federal de Sergipe, a abordar, caracterizar e mapear a paisagem cárstica do estado de Sergipe em toda a sua composição externa e interna.

Poucos trabalhos já foram publicados sobre algumas das formas que constituem paisagem cárstica em Sergipe. Entre os trabalhos disponíveis – em sua grande maioria tratando

de cavernas - estão artigos para revistas ou eventos nacionais e internacionais, trabalhos de conclusão de curso e relatórios de consultorias de entidades ligadas a espeleologia.

No estado de Sergipe a falta de proposta de planejamento ambiental como suporte a gestão territorial em paisagens cársticas, a torna vulnerável a exploração e ao uso e ocupação indiscriminada, sem que haja as preocupações devidas para a manutenção dos ecossistemas que a compõem. Paisagens Cársticas em todo mundo requerem gerenciamento específico e multidisciplinar. Segundo Ferreira e Martins (2001), a paisagem cárstica pode ser desestruturada por alterações decorrentes de atividades de mineração, agricultura, ocupação urbana, obras de engenharia, turismo, da captação de água subterrânea, entre outros.

Estas atividades desenvolvidas de forma desorganizada e predatória, sem critérios técnicos adequados e sem planejamento, acabam deflagrando processos que induzem os acidentes geológicos, como subsidências e colapsos de solo e rocha, como também, degradam áreas de valor espeleológico e poluem aquíferos (VESTENA, 2002).

Segundo a CODISE (2013) o Estado de Sergipe é detentor de uma expressiva reserva de calcário – um dos principais elementos para a formação das paisagens cársticas - distribuída em um grande número de depósitos que abrange não somente a região de bacia sedimentar, mas também na área abrangida pelo cristalino. Em todos os depósitos os calcários apresentam grande variedade química e mineralógica.

A ocupação urbana é um fator que pode desencadear vários problemas às paisagens cársticas, como por exemplo, as atividades de construção civil devido a implementação de serviços de terraplanagem, estradas e fundações; barragens; pedreiras; produção de lixo e esgotos; impermeabilização do solo, entre outros. As atividades agrícolas convencionais em áreas cársticas podem também desencadear problemas, pois as águas transportando agrotóxicos possibilita a contaminação rápida de aquíferos abrigados no carste (VESTENA, *et. al.*, 2002).

As atividades turísticas também podem afetar os sistemas que compõem a morfologia externa e interna do carste. A intensa visitação pode trazer vários impactos ambientais, como o depósito de lixo, destruição de espeleotemas no endocarste, uso de sistema de holofotes, construção de escadas, corrimões, entre outros, alterando o fluxo de energia e o meio biótico, provocando no solo e na água variações de temperatura, umidade relativa, concentração de CO₂, e outros (VESTENA, *et. al.*, 2002).

Por esse motivo, conhecer o carste e planejar sua ocupação torna-se relevante, porque diversas atividades socioeconômicas, já referidas, estão sendo desenvolvidas em Sergipe e na grande maioria dos casos de maneira desordenada ou sem planejamento.

Outra importante contribuição que este trabalho pode oferecer a comunidade acadêmica é adaptação de uma metodologia para determinar o grau de relevância da paisagem cárstica com efeito a nortear a compartimentação da paisagem e servir de indicador para a elaboração de análises de vulnerabilidade ambiental para esse tipo de ambiente.

A aplicação de um Zoneamento Ecológico-Econômico atrelado a outros instrumentos de orientações gerais sobre o uso e ocupação do solo, contribui como proposta metodológica para nortear futuros trabalhos que objetivem o planejamento e gestão territorial de paisagens cársticas, tendo em vista que o principal objetivo do zoneamento é adequar à utilização do solo de acordo com suas especificidades, garantindo o equilíbrio na relação homem-natureza.

Diante disso, a caracterização e elaboração de instrumentos adequados as características da paisagem cárstica permite conhecer as estruturas, o funcionamento e a dinâmica desse ambiente, possibilitando o direcionamento de ações por meio de parâmetros definidos, que possam mensurar o grau de relevância do carste para uma ação apropriada em relação ao uso e ocupação, bem como, a manutenção dos ecossistemas e a conservação/preservação do patrimônio exocárstico e endocárstico em Sergipe.

1.2 Questões Norteadoras

Na perspectiva de que a realização de uma caracterização da paisagem cárstica em Sergipe juntamente com a aplicação de instrumentos como o Zoneamento Ecológico - Econômico, possibilitem compreender e gerir o funcionamento desse tipo de paisagem, algumas questões direcionaram essa pesquisa:

- 1** Quais as marcas na paisagem que se configuram como um mosaico de objetos que permite sinalizar avanços e desafios para a gestão territorial da paisagem cárstica?
- 2** As condições climáticas, a baixa altimetria do relevo, foram os principais responsáveis pela formação singela de espeleotemas na paisagem cárstica sergipana?
- 3** O maior tempo de submissão aos processos de denudação e esculturação possibilitou uma morfologia cárstica mais desenvolvida no Domínio Vaza Barris se comparado ao da Bacia Sergipe?
- 4** As paisagens cársticas, por sua natureza física específica, sofrem com a ação antrópica, em virtude da ocupação urbana da terra, das atividades agrícolas, da captação de água subterrânea e da mineração, principalmente da extração de calcário?

- 5 As principais consequências do uso e da ocupação desordenada de paisagens cársticas estariam relacionadas com as mudanças rápidas nos regimes hidrológicos superficiais e subterrâneos e o abatimento de cavidades naturais?
- 6 Como as atividades econômicas podem constituir-se como um problema para a manutenção das paisagens cárstica de Sergipe?

1.3 Hipótese

A realização de um inventário sobre os aspectos de morfogênese, morfoestrutura e morfodinâmica do carste sergipano, juntamente com a elaboração de instrumentos adequados as características desse tipo de paisagem, permitirá conhecer as estruturas, o funcionamento e a dinâmica desse ambiente, possibilitando o direcionamento de ações por meio de parâmetros definidos que possam mensurar a relevância do carste para uma efetivação apropriada em relação ao uso e ocupação, bem como, a manutenção dos ecossistemas, e a conservação do patrimônio exocárstico e endocárstico presentes em Sergipe.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo Geral

Caracterizar os processos de morfogênese, morfoestrutura e morfodinâmica da paisagem cárstica de Sergipe para fins de planejamento e gestão ambiental, buscando o uso sustentável desse ambiente com o desenvolvimento das atividades antrópicas.

1.4.2 Objetivos Específicos

- Caracterizar os principais componentes físicos (geologia, clima, geomorfologia, recursos hídricos superficiais e subterrâneos, solos, cobertura vegetal,)
- Fazer um levantamento paleogeográfico dos componentes físicos (geologia, clima, recursos hídricos, solos, cobertura vegetal), visando a elaboração de uma base teórica e cartográfica que retrate as condições para a formação do carste em Sergipe;
- Identificar as principais formas de relevo cárstico (exocárstico e endocárstico) no intuito de caracterizá-las e mapeá-las, buscando categorizá-las de acordo com o grau de relevância;

- Caracterizar o uso e ocupação do solo nos municípios que possuem paisagens Cársticas em Sergipe;
- Avaliar a vulnerabilidade natural e ambiental das unidades da Paisagem Cárstica de Sergipe, subsidiando a construção de um diagnóstico ambiental;
- Elaborar uma proposta de Zoneamento Ecológico – Econômico da Paisagem Cárstica, identificando as vocações e vulnerabilidades naturais, bem como expressar as relações sociais e econômicas da paisagem;
- Avaliar a eficácia dos Métodos KDI (*Karst Disturbance Index*) e da Classificação do grau de relevância da CECVAV para a gestão de paisagens cársticas e valorização do patrimônio espeleológico;
- Propor novos instrumentos para o planejamento e gestão ambiental de áreas cársticas.

1.5 Procedimentos Técnicos e Operacionais

A Teoria dos Sistemas e a Teoria dos Sistemas Dinâmicos não-lineares foram os métodos que guiaram a construção dessa tese, visto que, o estudo e a compreensão da organização do espaço requerem análises profundas de forma integrada sobre os diversos elementos que constituem a paisagem expressa na superfície atual. O uso da abordagem sistêmica na geografia, em especial aos estudos ambientais, possibilitou melhor focalizar as pesquisas e delinear com maior exatidão o campo de estudo desta ciência, além de propiciar ensejo para reconsiderações críticas de muitos conceitos (CHRISTOFOLETTI, 1999).

Com base nessa concepção integradora e, com o intuito de atingir os objetivos expostos anteriormente, a presente pesquisa adotou alguns procedimentos metodológico-operacionais, como: revisão bibliográfica, trabalhos de campo, levantamento cartográfico e sua interpretação, elaboração de modelos e sua aplicação, tabulação de dados secundários e análise de componentes abióticos em laboratórios.

1.5.1 Levantamento e análise do acervo bibliográfico e cartográfico

Para revisão de literatura buscou-se dialogar com autores que tratam da composição teórica e metodológica da proposta de pesquisa. Entre esses autores destacam-se os seguintes para os respectivos temas:

- **Categoria Paisagem:** De Nardin (2009); Araújo (2010); Costa (2010); Brito e Ferreira (2011); Corrêa (2008); Cabral (2007); Verdum *et. al.*, (2007); Strahler (1950); Bertrand (1972); Tricart (1977); Tuan (1979); Tricart (1982); Santos (1988); Santos (1996);

Santos (1997); Monteiro (2001); Ab'Saber (1969); Salgueiro (2001); Cavalcanti (2014), Macedo e Araújo (2014);

- **Teoria dos Sistemas e Sistema Dinâmico não-linear:** Christofolletti (1979); Bertalanffy (1976); Chorley (1962); Tricart (1977); Araújo (2010); Guerra e Guerra (2005); Troppmair (2004); Bolós e Capdevila (1992); Ross (2009); Bertand (1972); Tricart (1977), Guerra e Marçal (2006); Monteiro (2006); Veiga (2007) Sotchava (1975); Macedo e Araújo (2014); Cavalcanti (2014), Capra (1996); Briggs (1992); Gleick (1990); Gleiser (2002); Prigogine (1996); Strahler (1980);
- **Modelos Ambientais e Geometria Fractal:** Christofolletti (1999); Brum et. al. (2011); McGuffie (1997); Sellers (1997); Chorley e Haggett (1967, 1975); Woldenberg (1985); Fischer, Scholten e Unwin (1996); Schulze (1995; 1997); Shiklomanov (1999); Schumm (1977); Favre e Stampfli (1992);
- **Conceitos que norteiam a formação da Paisagem Cárstica:** Bigarella *et. al.*, (2007); Kohler, (1989, 2009); Cavalcanti (2012); Hardt (2008); Vestena (2002); Ford e Williams (2007); Christofolletti (1980), Donato (2011); Macedo, Araújo, Donato, *et. al.*, (2012); Travassos (2010); Watson (1997); Herrmann (1998); Gambarini (2012); Karmann *et. al.*, (2007); Piló (2000); Lino (2001); Teixeira *et. al.*, (2001); Sallun Filho (2005); White (1988); Parise (2010); Klimchouk e Ford (2007).

Como suporte para a caracterização dos condicionantes naturais e socioambientais e classificação das formas de relevo cárstico, foram realizadas consultas em acervos cartográficos, tais como: A base de dados da CPRM –GEOBANK (recursos minerais, estrutura geológica, falhas, fraturas, dobras, entre outros) nas escalas de 1:250.000, 1:100.000 e 1:50.000; as Cartas Topográficas das áreas inseridas no presente recorte espacial na escala de 1:100.000; a base cartográfica da Secretaria de Estado e Meio Ambiente e Recursos Hídricos (SEMARH) publicados a partir de 2013/01; imagens de Satélite Landsat 7 e Landsat 8; a base cartográfica do Instituto Chico Mendes – ICMBIO, a base cartográfica do Centro Nacional de Pesquisa e Conservação de Cavernas – CECAP nas escalas de 1:100.000 e 1:50.000, interpretação de fotografias áreas consignadas junto a SEPLAG (Secretaria de Planejamento e Gestão do Estado de Sergipe) e o uso de Sensoriamento Remoto.

Os trabalhos de campo foram relevantes para a construção da pesquisa, pois os mesmos, proporcionaram uma interação com as informações obtidas através da revisão da

literatura e da tabulação dos dados secundários, com a observação empírica dos fatos aqui pesquisados. Foram realizados em 44 dias, somando 7.013,5 quilômetros percorridos, sendo 124,77 quilômetros a pé, entre os meses de março e setembro de 2016 o que resultou no registro de 61 novas cavidades.

Uma observação de destaque nesse levantamento é a ocorrência de cavernas em litologias distintas do carste tradicional, como filito, arenito, metarenito, quartzito diorito, quartzito micáceo e tufa calcária.

1.5.2 Caracterização dos condicionantes físicos e socioeconômicos: dados secundários, trabalhos de campo e análises cartográficas.

Para uma caracterização dentro da concepção dos Sistemas Complexos para os condicionantes físicos e socioeconômicos, avaliou-se o contexto do município na qual a paisagem cárstica está inserida. Essa necessidade adveio do entendimento de que as paisagens que estão no entorno das áreas cársticas, também influenciou e/ou influencia os processos morfogenéticos e morfodinâmicos desse tipo de morfologia.

Para se chegar a caracterização, diagnóstico ambiental e avaliação da vulnerabilidade natural e ambiental das unidades de paisagem no carste sergipano, foi necessário o levantamento dos seguintes dados dos condicionantes naturais e sociais:

- **Contexto Paleoambiental e Hidrogeografia**

Ambientes cársticos são bastantes propícios à preservação de importantes indicadores paleoambientais. Parte desses vestígios são encontrados no interior de cavernas onde, existe possibilidades de serem conservados por longos períodos. Isso possibilita conhecer o comportamento do contexto ambiental, no processo de desenvolvimento desse tipo de morfologia.

Nesta pesquisa, entende-se como fundamental esse conhecimento pretérito (paleoclimas, paleogeografia, paleobiogeografia, desenvolvimento tectônico/estrutural, morfogenética do relevo) a fim de obter respostas para algumas das questões de pesquisa aqui elaboradas. A partir dessas informações, por exemplo, pode-se chegar a respostas de perguntas como: o porque as cavidades desenvolvidas em rochas carbonáticas em Sergipe não apresentam desenvolvimento significativo? Ou mesmo: o porquê da ausência de espeleotemas na grande maioria dessas cavidades?

A água (associada ao CO₂) é o elemento chave no processo de dissolução das rochas carbonáticas, e consequentemente, no processo de modelação de relevos cársticos (superficiais e subterrâneos).

A análise da água permitiu mensurar sua qualidade entre outros parâmetros, possibilitando a compreensão de fatos que podem avaliar desde a disponibilidade de recursos hídricos para as atividades socioeconômicas, bem como, o estado de degradação em função da alta carga de sedimentos e produtos que são lançados em superfície que atingem os corpos d'água superficiais e subterrâneos.

- **Geologia e Recursos minerais**

Na caracterização geológica e compartimentação litoestrutural, na qual foram adotados os dados da CPRM e trabalhos de campo, observou-se os seguintes parâmetros: constituição litológica, considerando as suas propriedades em face das manifestações da dinâmica externa e interna: grau de solubilidade; resistência mecânica; posição estratigráfica e hipsometria em relação a outras sequencias rochosas; grau de litificação; porosidade; densidade e composição química; orientação, direcionamento das lineações estruturais que comandam as disposições do quadro morfoestrutural.

Nessa caracterização também foram inseridas as características referentes aos recursos minerais desse ambiente, a partir de dados obtidos pela base de dados da Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais – CPRM e Companhia de Desenvolvimento Econômico de Sergipe – CODISE.

- **Solos**

Os solos se apresentam sob formas diversas na natureza. Como um recurso natural, o conhecimento a seu respeito e sua distribuição espacial contribuem não só para estudos das Ciências dos solos, mas também, para a Geografia, Geologia, Biologia, Agronomia, entre outras. No tocante as características pedológicas do recorte espacial da presente pesquisa, além de consulta da base de dados da EMBRAPA/SUDENE de 1975, seguindo as orientações da Nova Versão Do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SiBCS) de 2013/2015.

Para nortear os trabalhos de campo, observou-se também a proposta para a classificação dos solos, segundo o “Manual Técnico de Pedologia do IBGE (2007)”, apontando as principais características físicas, químicas, morfológicas e mineralógicas (horizonte/camada, textura, estrutura, cor, raízes e cascalhos, ordens de solos) possibilitando a partir dessa análise, dados que corroborem na delimitação das unidades de paisagem, bem como, gere informações e indicadores de suscetibilidade à erosão e capacidade de infiltração das águas.

- **Clima**

O clima, é, um dos condicionantes mais importantes para o desenvolvimento da morfologia cárstica. Sua atuação pretérita e no tempo atual, podem determinar a velocidade dos processos de carstificação e consequentemente, contribuir no processo de modelação desse tipo de paisagem. Sua compreensão, se torna necessária, cabendo encontrar os instrumentos mais adequados para sua interpretação.

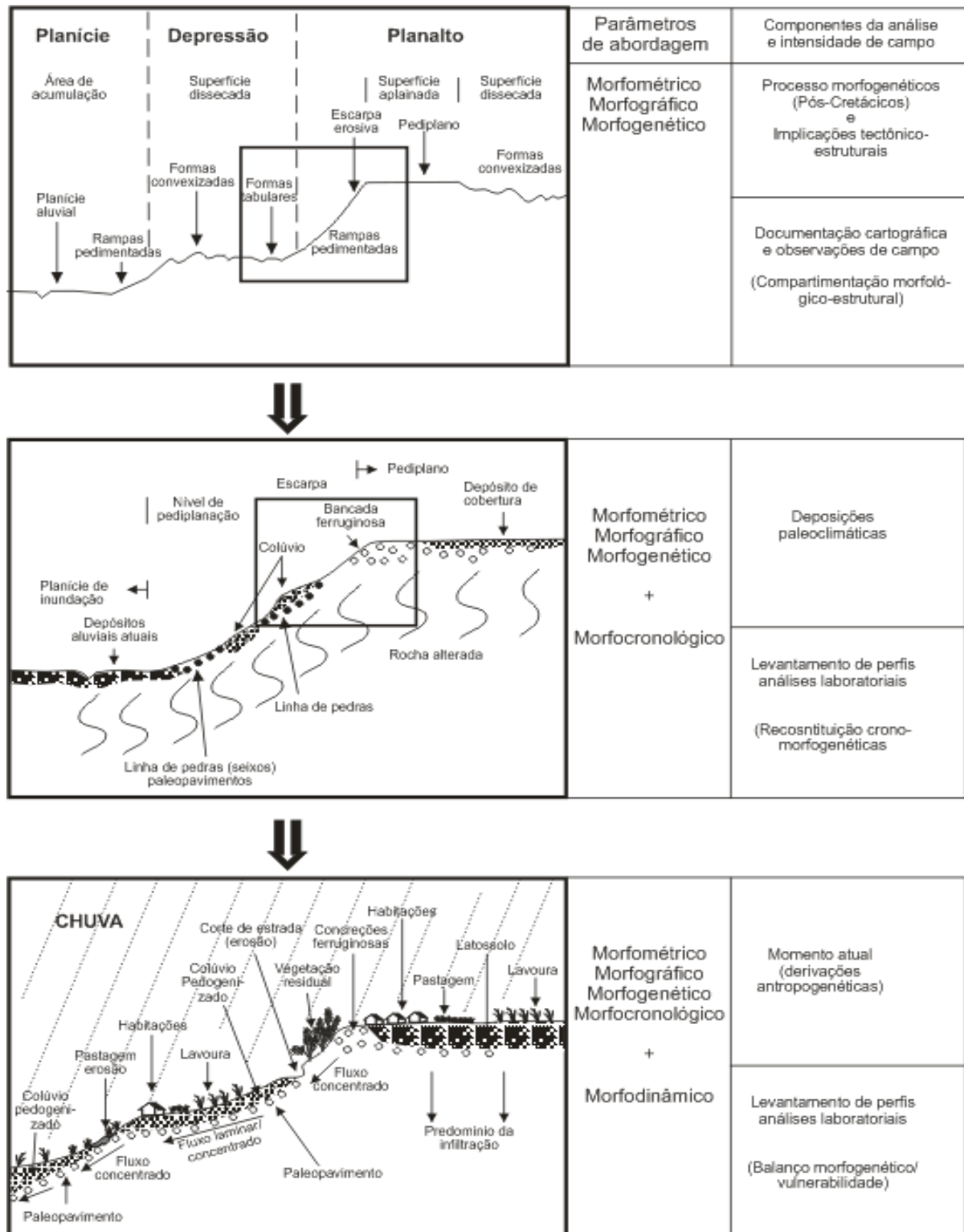
Para tal, ocorreu a caracterização das condições Climáticas e hídricas, baseado na análise dos parâmetros climáticos e identificação do potencial hídrico superficial e subsuperficial, cálculo e análise do balanço hídrico, cálculo de evaporação e evapotranspiração. Esses dados foram coletados junto a órgãos como Sistema Meteorológico de Sergipe – SIMESE, Instituto Nacional de meteorologia – INMET, Empresa de Desenvolvimento Agrário de Sergipe – EMDAGRO, Companhia de Desenvolvimento de Recursos Hídricos e Irrigação de Sergipe – COHIDRO, Ministério do Meio Ambiente – MMA, Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Recursos Hídricos – SEMARH, entre outros, associados aos dados de trabalhos de campo.

- **Geomorfologia**

A Geomorfologia vem ao longo do tempo, mostrando sua importância para diversos campos do conhecimento humano, tendo suas aplicações contribuído para uma melhor organização do espaço geográfico. Para a presente tese, o conhecimento geomorfológico foi vital, já que o objeto de estudo tem como base as formas assumidas ao longo do tempo pela superfície terrestre em rochas carbonáticas, o que denominamos de geomorfologia cárstica.

Segundo Casseti (2005, p. 19) “o estudo da geomorfologia tem sido tratado ao longo do tempo, em dois grandes níveis: um relacionado à construção do edifício teórico, (...) e outra correspondente às expectativas associadas às aplicações dos conhecimentos”. Para a efetiva aplicação dos conhecimentos geomorfológicos no intuito de compreender a dinâmica pretérita e atual no desenvolvimento da morfologia cárstica, buscou-se sistematizar a análise do relevo a partir das contribuições do geógrafo Ab’Saber (1969), na qual o relevo é concebido em três dimensões que se integram e interagem: compartimentação topográfica, estrutura superficial e fisiologia da paisagem (figura 1.1), especificadas a seguir.

Figura 1.1 – Níveis de abordagem geomorfológica segundo a metodologia de AB' Saber (1969).



Fonte: Casseti, 2005.

- a) **Compartimentação Topográfica**, correspondente pela separação de determinados domínios morfológicos que se individualizam por apresentarem características específicas, como determinados tipos de formas ou domínios altimétricos, sendo as

formas resultantes do processo evolutivo do relevo testemunho de episódios associados a determinados domínios Morfoclimáticos, refletindo as interações entre os agentes internos, comandados pela estrutura tectônica e os externos associados aos efeitos climáticos, em tempo suficiente para deixar impresso no modelado paleoformas relacionadas a processos morfogenéticos.

b) **Estrutura Superficial**, refere-se ao estudo dos depósitos correlativos ao longo das vertentes ou em diferentes compartimentos. Esses depósitos são suscetíveis de transformação ao longo do tempo geológico, ensejadas por erosão e perturbações tectônicas locais. O longo período de tempo necessário para sua formação envolve mudanças climáticas, responsáveis por materiais diferentes em sua constituição.

c) **Fisiologia da Paisagem**, corresponde ao momento atual e até sub-atual do quadro evolutivo do relevo, considerando os processos morfodinâmicos, como o significado das ocorrências pluviométricas nas áreas intertropicais, ou processos específicos nos diferentes domínios morfoclimáticos do globo, bem como as transformações produzidas na paisagem pela intervenção antrópica.

- **Cobertura Vegetal e Uso do Solo**

A cobertura vegetal desempenha um importante papel nos processos de carstificação. No seu processo de alimentar, as plantas, acabam prendendo próximos ao solo o gás carbônico, essencial para o processo químico desencadeando, em associação com a água a formação do ácido carbônico, responsável pelo processo de dissolução da calcita. Sua presença (pretérita ou no presente) pode ser um fator denunciante do estágio de desenvolvimento desse tipo de morfologia. Para a caracterização da cobertura vegetal, fez-se consultas a SEMARH, dados de 2010 a EMBRAPA e SUDENE (1975), fotografias áreas além de trabalhos de campo.

Em relação a análise do uso e ocupação das terras vinculadas a paisagem cárstica de Sergipe, os dados foram obtidos através de consultas em anuários e trabalhos de campo em órgãos públicos, tais como, o IBGE, SEPLAG, CODISE, SEMARH, SEINFRA, SEDURB, COHIDRO, INCRA, PNUD, Secretarias das Prefeituras Municipais, e em empresas privadas como a Votorantim, Nassau, FAFEN, Itaguassu Agroindustrial S/A, SEMISA, entre outros órgãos públicos e privados. Nessa análise foram levados em consideração os seguintes aspectos socioeconômicos: aspectos evolutivos da população, estrutura ocupacional, atividades agropecuárias e atividades industriais;

Para caracterização dos condicionantes socioeconômicos, quatro critérios foram utilizados na seleção dos municípios:

1° Os diversos usos do solo ocorrem de modo significativo sobre morfologia cárstica, mesmo que subjacente;

2° Os municípios que apresentam parte significativa de suas sedes em terras vinculadas a esse tipo de morfologia;

3° Municípios que dependam da extração da água de aquíferos cársticos para o abastecimento residencial, agricultura e dessedentação de animais.

4° Apresentem as feições mais desenvolvidas do exocarste ou endocarste.

A partir desses critérios foram selecionados os seguintes municípios: Campo Brito, Capela, Divina Pastora, Japarutuba, Lagarto, Laranjeiras, Macambira, Maruim, Nossa Senhora das Dores, Nossa Senhora do Socorro, Pinhão, Poço Verde, Rosário do Catete, São Cristovão, São Domingos, Simão Dias e Siriri.

1.5.3 Procedimentos para elaboração da base cartográfica, mapas temáticos e caracterização do carste em Sergipe

Para elaboração dos mapas temáticos, perfis topográficos, perfis integrados, morfometria dos canais fluviais Modelo Digital de Terreno, declividade, entre outras, foram utilizados os seguintes softwares: ArcGis 10.1 da ESRI®, Global Mapper 15 da Blue Marble Geographics®, SPRING 5.2.4 do INPE, ENVI 5 da Exelis VIS®. Além dos Softwares foram utilizadas outras geotecnologias para auxiliarem a pesquisa, como GPS, softwares para manipulação e tabulação de dados, entre outros.

Para a elaboração dos cartogramas adotou-se a proposta de Cendrero (2004), o qual propõe a escala de 1:50.000 (meso), como a mais adequada para mapeamentos temáticos, por oferecer o nível de detalhe eficiente para estudos dessa natureza, sendo uma etapa primordial para o planejamento e gestão ambiental e corroborando a proposta de ZEE.

Na caracterização e mapeamento das formas de relevo cárstico, utilizou-se o Sensoriamento Remoto. A partir do uso dessa ferramenta, informações de grande relevância são mensuradas, segundo Oliveira e Maillard (2001) e Carvalho Junior et. al. (2008), permitindo compreender e identificá-las.

Dessa forma, a partir de dados de sensoriamento remoto, foi possível descrever os padrões exocársticos e inferir sobre as estruturas que condicionam a evolução do modelado cárstico.

Assim, o Sensoriamento Remoto pode ser utilizado para identificar os terrenos carbonáticos, identificar as feições estruturais importantes no desenvolvimento do modelado e na análise espacial e temporal das feições de Depressão Cárstica, Dolinas, Uvalas, Lapiás, Vale cárstico, Morro cárstico, como também, facilitou a identificação de endocarste. Para os mapas temáticos gerados após a identificação e caracterização das formas de relevo exocárstico e endocárstico, adotou-se a convenção proposta pelo IBGE, no “Manual Técnico de Geomorfologia (2009)”.

Foram realizados levantamentos e mapeamento de feições cársticas em campo, como dolinas, sumidouros e ressurgências. Para o mapeamento dessas feições cársticas utilizou-se medições sucessivas de Global Positioning system (GPS) com altímetro digital embutido, e posterior geração de mapas. Os levantamentos destas feições em campo foram necessárias, devido à presença de nuvens em algumas imagens de satélite dificultando o mapeamento. Da mesma forma que algumas feições, a depender da escala, não possuam dimensão suficiente para quantificá-las a partir de fotografias aéreas ou imagens de satélites devido à escala.

As dolinas, planícies cársticas com morros residuais, planícies com coberturas de tufas e cavernas foram mapeadas quanto a sua localização, forma em planta e em perfil e suas características geológicas.

Para obter um parâmetro quantitativo da forma em perfil das dolinas, ou seja, perfil suave ou íngreme, seguiu a proposta de Sallun Filho (2005) e White (1988) para obter o valor da razão entre a profundidade e o diâmetro (P/D). Segundo esses autores, quanto maior o valor de P/D mais íngreme é o perfil da dolina. White (1988) utiliza-se deste índice para diferenciar dolinas, Poljés, corredores e cânions (mais largas que fundas, com índice menor ou igual a 1) de chaminés, poços, abismos e fendas (mais fundas do que largas, com índice menor que 1).

1.5.4 Definição dos Critérios e pesos para Avaliação da vulnerabilidade natural e ambiental e Procedimentos Metodológicos para Elaboração das Cartas

Para classificar o índice de vulnerabilidade natural e ambiental da paisagem adaptou-se a proposta de Crepani *et.al.* (2001) e Costa *et. al.* (2006) e teve como base teórica os princípios da Ecodinâmica de Tricart (1977) que estabelece as seguintes categorias morfodinâmicas: Meios estáveis, Meios intergrades, Meios fortemente instáveis.

Os critérios desenvolvidos a partir desses princípios permitiram a criação de um modelo onde se buscou a avaliação, *de forma relativa e empírica*, do estágio de evolução morfodinâmica das unidades territoriais básicas, atribuindo valores de estabilidade às categorias morfodinâmicas (quadro 1.1).

Quadro 1.1 – Avaliação da estabilidade das categorias morfodinâmicas.

Categoria Morfodinâmica	Relação Pedogênese /Morfogênese	Valor
Estável	Prevalece a Pedogênese	1,0
Intermediária	Equilíbrio Pedogênese/Morfogênese	2,0
Instável	Prevalece a Morfogênese	3,0

Organização: Heleno dos Santos Macedo; Hélio Mário de Araújo, 2018.

Fonte: Crepani, *et.al.*, 2001.

Adaptado: Costa et al. (2006).

A partir dessa primeira aproximação, Crepani *et. al.* (2001) afirmam a necessidade de se procurar contemplar uma maior variedade de categorias morfodinâmicas, de forma a se construir uma escala de vulnerabilidade para situações que ocorram naturalmente.

Adaptou-se então o modelo apresentado por Crepani *et. al.* (2001) que estabelece 21 classes de vulnerabilidade à perda de solo, distribuídas entre as situações onde há o predomínio dos processos de pedogênese (às quais se atribuem valores próximos de 1,0), passando por situações intermediárias (às quais se atribuem valores ao redor de 2,0) e situações de predomínio dos processos de morfogênese (às quais se atribuem valores próximos de 3,0) – figura 1.2.

Figura 1.2 – Escala de vulnerabilidade ambiental.

MÉDIA			GRAU DE VULNERAB.	GRAU DE SATURAÇÃO			
				VERM.	VERDE	AZUL	CORES
↑	3,0		VULNERÁVEL	255	0	0	
	2,9			255	51	0	
	2,8			255	102	0	
	2,7			255	153	0	
V	2,6		MODERADAM. VULNERÁVEL	255	204	0	
U	2,5	E		255	255	0	
L	2,4	S		204	255	0	
N	2,3	T		153	255	0	
E	2,2	A	MEDIANAM. ESTÁVEL/ VULNERÁVEL	102	255	0	
R	2,1	B		51	255	0	
A	2,0	I		0	255	0	
B	1,9	L		0	255	51	
I	1,8	I	MODERADAM. ESTÁVEL	0	255	102	
L	1,7	D		0	255	153	
D	1,6	A		0	255	204	
A	1,5	D		0	255	255	
D	1,4	E	ESTÁVEL	0	204	255	
E	1,3			0	153	255	
	1,2			0	102	255	
	1,1			0	51	255	
	1,0			0	0	255	
↓							

Fonte: Crepani, *et.al.*, 2001.

O modelo foi aplicado individualmente aos temas (Geologia, Geomorfologia, Solos, Vegetação, Clima e uso do Solo) que compõem cada unidade territorial básica, que recebe posteriormente um valor final, resultante da média aritmética dos valores individuais segundo uma equação empírica, que busca representar a posição desta unidade dentro da escala de vulnerabilidade natural à perda de solo:

$$V = \frac{(G + R + S + Vg + C)}{5}$$

Onde,

V = vulnerabilidade

G = vulnerabilidade para o tema geologia

R = vulnerabilidade para o tema geomorfologia

S = vulnerabilidade para o tema solos

Vg = vulnerabilidade para o tema vegetação

C = vulnerabilidade para o tema clima

Diante dos valores obtidos, a paisagem cárstica pode ser classificada de acordo com o seu grau de vulnerabilidade natural e ambiental. Para gerar os mapas de vulnerabilidade realizou-se o *Analytic Hierarchy Process* (AHP), onde cruzou-se planos de informações atribuindo pesos para cada classe desses planos.

Para confecção dos mapas de vulnerabilidade natural das áreas cársticas de Sergipe, elaborou-se quatorze mapas físicos (sete de cada área) dos seguintes temas: geologia, clima, geomorfologia, cobertura vegetal, solos, aquíferos e declividade. Esses elementos foram escolhidos devido a relevância que possuem para o processo sistêmico de carstificação. O cruzamento dos mapas baseou-se no conceito de estabilidade de Tricart (1977) e adaptado de Costa *et. al.*(2006).

A integração dos dados físicos foi feita segundo um modelo utilizado por Barbosa (1997), Crepani *et al.*, (1996, 2001) e Grigio (2003), Costa *et. al.* (2006) onde o grau de vulnerabilidade estipulado para cada classe foi distribuído em uma escala de 1,0 a 3,0, com intervalo de 0,5, distribuídas entre as situações de predomínio dos processos de pedogênese (as quais se atribuem valores próximos a 1,0), passando por situações intermediárias (as quais se atribuem valores ao redor de 2,0) e situações de predomínio dos processos erosivos modificadores das formas de relevo, morfogênese (às quais se atribuem valores próximos de

3,0). O conjunto de todas essas informações foi integrado para gerar e armazenar uma base de dados georreferenciados, possibilitando com isso uma análise sistêmica de cada elemento usado na elaboração das respectivas cartas.

Para elaboração das cartas temáticas e conversão para o formato *Raster*, utilizou-se o *software* ArcGis 10.2, e o módulo de ferramentas do *Arctoolbox*, *Conversion Tools*, *To Raster*; *Polygon to Raster*. Para o cruzamento dos *Rasters* aplicou-se o módulo de ferramentas do *Arctoolbox*, *Spatial Analyst Tools*, *Map Algebra*; *Raster Calculator*, utilizando os pesos a seguir para elaboração do mapa de vulnerabilidade natural (tabela 1.1).

Tabela 1.1 – Pesos calculados para cada fator de vulnerabilidade natural

FATORES						
Geologia	Geomorfologia	Cobertura Vegetal	Aquíferos	Solos	Clima/Precipitação	Declividade
3,0	1,0	1,0	1,0	1,0	2,0	1,0

Organização: Heleno dos Santos Macedo, 2018.

Adaptado: Costa et al. (2006).

Os pesos foram somados e divididos pela quantidade de fatores. O resultado da média aritmética foi distribuído em cinco classes de vulnerabilidade Natural, através de um conceito relativo, ou lógica *Fuzzy*, como mostra a tabela 1.2.

Tabela 1.2 – Média aritmética para as classes de vulnerabilidade natural

CLASSIFICAÇÃO	MÉDIA
Muito Baixa	0,0 – 1,3
Baixa	1,4 – 1,7
Média	1,8 – 2,2
Alta	2,3 – 2,5
Muito Alta	2,6 – 3,0

Organização: Heleno dos Santos Macedo, 2018.

Adaptado: Costa et al. (2006).

Para se obter mapas de vulnerabilidade ambiental que representasse melhor as peculiaridades das áreas cársticas, aplicou-se o método de ponderação de fatores, que permite a possibilidade de compensação entre os fatores através de um conjunto de pesos que indicam a importância relativa de cada fator. Os pesos de compensação indicam a importância de qualquer fator em relação aos demais (tabela 1.3).

Tabela 1.3 – Pesos calculados para cada fator de vulnerabilidade ambiental

FATORES							
Geologia	Geomorfologia	Cobertura Vegetal	Aquíferos	Solos	Clima/Precipitação	Declividade	Uso do solo
1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	3,0

Organização: Heleno dos Santos Macedo, 2018.

Adaptado: Costa et al. (2006).

Para elaboração da carta de vulnerabilidade Ambiental, utilizou-se o *software* ArcGis 10.2, e o módulo de ferramentas do *Arctoolbox*, *Conversion Tools*, *To Raster*; *Polygon to Raster*. Para o cruzamento dos *Rasters* aplicou-se o módulo de ferramentas do *Arctoolbox*, *Spatial Analyst Tools*, *Map Algebra*; *Raster Calculator*. O resultado da média aritmética foi distribuído em cinco classes de vulnerabilidade ambiental (tabela 1.4).

Tabela 1.4 – Média aritmética para as classes de vulnerabilidade ambiental

CLASSIFICAÇÃO	MÉDIA
Muito Baixa	0,0 – 1,5
Baixa	1,6 – 1,8
Média	1,9 – 2,3
Alta	2,4 – 2,6
Muito Alta	2,7 – 3,0

Organização: Heleno dos Santos Macedo, 2018.

Adaptado: Costa et al. (2006).

1.5.5 *Karst Disturbance Index* (KDI) aplicado ao Carste Sergipano

Karst Disturbance Index (KDI) é uma metodologia proposta por Van Beynen e Townsend (2005), na qual tem por objetivo criar um índice que mede os fatores de perturbação no carste, levando em consideração o grau de interferência antrópica, podendo demonstrar, através dos resultados, as consequências /eficácia de gerenciamento em ambientes dessa natureza.

Para a construção desse índice, são avaliadas cinco categorias: Geomorfologia, Hidrologia, Biota, Atmosfera e Fatores Culturais; 13 atributos e 30 indicadores que são avaliados em 3 escalas diferentes: macro, meso e micro. Van Beynen e Townsend (2005), apresenta uma proposta interdisciplinar, uma vez que direciona o estudo a todo o sistema cárstico ao invés de se concentrar especificamente sobre uma determinada área (Quadro 1.2).

A variação das escalas ocorre, devido a necessidade de entender como esses processos ocorrem sobre a paisagem, a partir de uma escala macro a uma escala local ou micro. A escala macro abrange a avaliação dos processos em larga escala, que podem afetar, toda a região do

carste, como por exemplo, os fenômenos a céu aberto como minas, hidrelétricas, desmatamento e excesso de bombeamento de águas subterrâneas.

A meso escala é a mais localizada, ou seja, seus impactos são em menor escala, por exemplo, as construções que cobrem ou degradam feições cársticas, poluição do solo e remoção ou degradação de artefatos culturais –históricos. Por último, a escala micro, que envolve as condições individuais da caverna, podendo ser incorporados no estudo, os condutos acessíveis a exploração humana (VAN BEYNEN; TOWNSEND, 2005).

Quadro 1.2 – Indicadores utilizados para KDI (*Karst sturbance Index*).

ITENS	ATRIBUTOS	ESCALA	INDICADOR
Geomorfologia	Superfície do relevo	Macro	Mineração
		Macro/Meso	Inundações (Hidrelétrica, irrigação)
		Meso	Drenagem de águas pluviais
		Meso	Entupimento/entulhamento
		Meso	Depósito de Lixo
	Solo	Macro	Erosão
		Micro	Impermeabilização
	Subsuperfície cárstica	Macro	Inundações na caverna
		Micro	Vandalismo (remoção de decoração)
		Micro	Remoção de sedimentos minerais
		Micro	Comapctação de sedimentos no chão
Atmosfera	Qualidade do ar	Macro	Dissecação
		Micro	Condensação/Corrosão induzidas pelo homem
Hidrologia	Qualidade da água	Meso	Pesticidas/herbicidas
		Micro	Derramamentos industriais/petróleo
	Qualidade da água	Macro/Meso/Micro	Floração de algas
			Alteração na tabela de água
	Quantidade da água	Macro	Alterações nas águas da caverna/gotejamento
		Micro	
Biota	Perturbação na vegetação	Macro/Meso/Micro	Remoção de vegetação
	Vegetação na caverna	Micro	Riqueza de espécies
		Micro	Densidade populacional
	Biota do subsolo	Micro	Riqueza de espécies
		Micro	Densidade populacional
Fatores Culturais	Artefatos humanos	Macro/Meso/Micro	Destruição/remoção de artefatos históricos
	Proteção do carste	Macro/Meso/Micro	Proteção regulamentar
		Macro/Meso/Micro	Cumprimento dos regulamentos
		Macro/Meso/Micro	Educação pública
	Infraestrutura	Macro	Construção de estradas
		Meso	Construção sob feições cársticas
		Micro	Construção dentro das cavernas

Fonte: VAN BEYNEN e TOWNSEND, 2005. Organização: Heleno dos Santos Macedo, 2018.

Para a avaliação desses índices, foi atribuída a cada indicador uma pontuação de 0 a 3, baseando-se na extensão e gravidade do problema. De acordo com Van Beynen e Townsend (2005), a pontuação 0 significa que não há perturbação antrópica, nota 1 é atribuída quando a alteração for leve, a nota 2 demonstra alteração grave e nota 3, quando a perturbação for catastrófica e irremediável. A limitação dos escores para apenas quatro possibilidades remove parte da subjetividade, quando comparada a escalas que abrangem de 0-10 por exemplo, evitando dessa forma, que o avaliador opte por uma escore de nível médio por exemplo o que tornaria menos objetivo (VAN BEYNEN; TOWNSEND, 2005).

Na presente pesquisa, após os valores serem sido atribuídos para cada indicador, os mesmos foram somados. A soma total dos indicadores avaliados foi então dividida pelo número de indicadores presentes na tabela de estudo multiplicado por 3 que é a pontuação máxima. A interpretação deste valor é resumida na Tabela 1.5. Quanto maior for o valor, ou seja, o número for mais próximo de 1, maior será o grau de impacto.

Tabela 1.5 – Classificação de Impactos em áreas cársticas.

PONTUAÇÃO	GRAU DE DISTÚRPIO
0,8 – 1	Altamente perturbado
0,6 – 0,79	Moderadamente perturbado
0,4 – 0,59	Perturbada
0,2 – 0,39	Baixo Impacto
0,0 – 0,19	Intacta

Organização: Heleno dos Santos Macedo, 2018.

Fonte: VAN BEYNEN e TOWNSEND, 2005.

Quando um indicador não é aplicável na área, o mesmo deverá ser retirado da avaliação. Para os indicadores considerados importantes para a região, mas com dados insuficientes para avaliá-lo será atribuída uma variável LD “*Lack of Data*”, que significa falta de dados, sugerindo que mais estudos na área são necessários para avaliar o indicador.

A soma de LDs permite que se avalie a credibilidade do índice aplicado na área de estudo. Para se calcular a nota, divide-se o número de LDs pelo número total de indicadores. Quanto maior o valor, maior conservação do patrimônio a confiança no índice. Valores de LD menores que 0,1 demonstram alta confiança no KDI e valores maiores que 0,4 sugerem que os dados são insuficientes para permitir a avaliação do grau de distúrbio daquela área, sendo desta forma, necessários mais estudos na área antes da aplicação do mesmo.

1.5.6 Metodologia de classificação do grau de relevância das cavernas

Considerando a necessidade de se aprimorar e atualizar o Programa Nacional de Proteção ao Patrimônio Espeleológico, e incorporar ao licenciamento ambiental das atividades que afetem ou possam afetar o patrimônio espeleológico, os instrumentos de gestão ambiental do patrimônio espeleológico, visando o uso sustentável e a melhoria contínua da qualidade de vida das populações residentes no entorno de cavidades naturais subterrâneas, foi publicado no ano de 2004 a Resolução CONAMA Nº 347/2004.

Essa Resolução trouxe pela primeira vez o conceito de cavidade natural subterrânea relevante, que até então não tinha sido considerada na legislação anteriormente estabelecida. De acordo com o inciso II, do art. 2º, da resolução acima, são relevantes as cavidades naturais subterrâneas que apresentem significativos atributos ecológicos, ambientais, cênicos, científicos, culturais ou socioeconômicos, no contexto local ou regional.

Em 2008 houve a publicação do Decreto Federal Nº 6.640/2008 que alterou de forma significativa o Decreto Nº 99.556/1990 que trata da proteção das cavernas no Brasil. O Decreto Nº 6.640/2008 prevê a classificação das cavernas segundo quatro graus de relevância: máximo, alto, médio e baixo. Segundo o decreto, as cavernas de relevância máxima “não podem ser objeto de impactos negativos irreversíveis”, mas as cavernas classificadas com grau de relevância alto, médio ou baixo poderão “ser objeto de impactos negativos irreversíveis, mediante licenciamento ambiental”.

Os atributos (parâmetros) para a definição da classificação das cavernas de relevância máxima foram estabelecidos dentro do Decreto Nº 6.640/2008, porém os demais graus de relevância ficaram para serem detalhados em ato normativo do Ministro de Estado do Meio Ambiente, que no caso ocorreu através da Instrução Normativa Nº 02/08/2009 do Ministério do Meio Ambiente (MMA).

O Art. 3 estabelece os critérios para cavidades naturais com o máximo de relevância:

Art. 3º Entende-se por cavidade natural subterrânea com grau de relevância máximo aquela que possui pelo menos um dos atributos listados abaixo: I - gênese única ou rara; II - morfologia única; III - dimensões notáveis em extensão, área ou volume; IV - espeleotemas únicos; V - isolamento geográfico; VI - abrigo essencial para a preservação de populações geneticamente viáveis de espécies animais em risco de extinção, constantes de listas oficiais; VII - habitat essencial para preservação de populações geneticamente viáveis de espécies de troglóbios endêmicos ou relíquias; VIII - habitat de troglóbio raro; IX - interações ecológicas únicas; X - cavidade testemunho; ou XI - destacada relevância histórico-cultural ou religiosa.

O artigo 4º, 5º, 6º e 7º visam esclarecer o que são cavidades naturais classificadas com o grau de relevância alto, média ou baixa:

“Art. 4º Entende-se por cavidade natural subterrânea com grau de relevância alto aquela cuja importância de seus atributos seja considerada: I - acentuada sob enfoque local e regional; ou II - acentuada sob enfoque local e significativa sob enfoque regional.”

“Art. 5º Entende-se por cavidade natural subterrânea com grau de relevância médio aquela cuja importância de seus atributos seja considerada: I - acentuada sob enfoque local e baixa sob enfoque regional; ou 2 II - significativa sob enfoque local e regional.”

“Art. 6º Entende-se por cavidade natural subterrânea com grau de relevância baixo aquela cuja importância de seus atributos seja considerada: I - significativa sob enfoque local e baixa sob enfoque regional; ou II - baixa sob enfoque local e regional.”

“Art. 7º Para efeito de classificação do grau de relevância de uma cavidade serão considerados de importância acentuada, sob enfoque local e regional, os atributos com pelo menos uma das seguintes configurações: I - Localidade tipo; II - Presença de populações estabelecidas de espécies com função ecológica importante; III - Presença de táxons novos; IV - Alta riqueza de espécies; V - Alta abundância relativa de espécies; VI - Presença de composição singular da fauna; VII - Presença de troglóbios que não sejam considerados raros, endêmicos ou relictos; VIII - Presença de espécies troglomórficas; IX - Presença de troglóxeno obrigatório; X - Presença de população excepcional em tamanho; XI - Presença de espécie rara; XII - Alta projeção horizontal da cavidade em relação às demais cavidades que se distribuem na mesma unidade espeleológica, conforme definido no § 3º do art. 14, desta Instrução Normativa; XIII - Alta área da projeção horizontal da cavidade em relação às demais cavidades que se distribuem na mesma unidade espeleológica, conforme definido no § 3º do art. 14, desta Instrução Normativa; XIV - Alto volume da cavidade em relação às demais cavidades que se distribuem na mesma unidade espeleológica, conforme definido no § 3º do art. 14, desta Instrução Normativa; XV - Presença significativa de estruturas espeleogenéticas raras; XVI - Lago ou drenagem subterrânea perene com influência acentuada sobre os atributos da cavidade que tenham as configurações relacionadas nos incisos deste artigo; XVII - Diversidade da sedimentação química com muitos tipos de espeleotemas e processos de deposição; XVIII - Configuração notável dos espeleotemas; XIX - Alta influência da cavidade sobre o sistema cárstico; XX - Presença de inter-relação da cavidade com alguma de relevância máxima; XXI - Reconhecimento nacional ou mundial do valor estético/ cênico da cavidade; XXII - Visitação pública sistemática na cavidade, com abrangência regional ou nacional.”

Segundo o referido Decreto nº 6.640/2008 as cavidades com grau de relevância máximo e sua área de influência “não podem ser objeto de impactos negativos irreversíveis, sendo que sua utilização deve fazer-se somente dentro de condições que assegurem sua integridade física e a manutenção do seu equilíbrio ecológico”. Já todas as demais cavidades classificadas com grau de relevância alto, médio ou baixo poderão “ser objeto de impactos negativos irreversíveis, mediante licenciamento ambiental”

Portanto, na prática, o Decreto Nº 6.640/2008 possibilita a supressão (destruição) total ou parcial de cavernas no país, de forma legal através do processo de licenciamento ambiental,

situação essa que não seria possível de ocorrer com a redação anterior (original) do Decreto Nº 99.556/1990 que dispõe sobre a proteção das cavernas.

Para essa classificação, o grau de relevância é obtido pela quantidade de indicadores que determinada área possua. Os indicadores são:

1. Gênese única ou rara;
2. Morfologia única;
3. Dimensões notáveis em extensão, área ou volume;
4. Espeleotemas únicos;
5. Isolamento geográfico;
6. Abrigo essencial para a preservação de populações geneticamente viáveis de espécies animais em risco de extinção, constantes de listas oficiais;
7. Habitat de troglóbio raro;
8. Interações ecológicas únicas;
9. Carste testemunho;
10. Destacada relevância histórico-cultural ou religiosa;
11. Presença de estrutura geológica de interesse científico;
12. Presença de registros paleontológicos;
13. Reconhecimento local do valor estético/cênico da cavidade;
14. Visitação pública sistemática na cavidade, com abrangência local;
15. Presença de água de percolação ou condensação com influência acentuada sobre os atributos;
16. Lago ou drenagem subterrânea intermitente com influência acentuada sobre os atributos da cavidade.

1.5.7 Metodologia para Planejamento e Gestão de Paisagens Cársticas (PGPAC)

Essa metodologia para Planejamento e Gestão de Paisagens Cársticas (PGPAC) se baseia na proposta de Brilha (2005) e Uceda (2000) que atenta para a necessidade de se criar estratégias de Geoconservação para áreas que apresentem uma relevância para o patrimônio geológico, sendo adaptado para as necessidades de estudos em morfologias cársticas.

A Geoconservação consiste na proteção do patrimônio geológico promovendo, simultaneamente, o uso racional deste componente não vivo do patrimônio natural. O

patrimônio geológico vem recentemente, ganhando algum reconhecimento do seu valor, interesse e vulnerabilidade.

Minerais excepcionais, fósseis, rochas e paisagens – todos eles elementos da geodiversidade – podem enfrentar diversos tipos de ameaças resultantes, quer de processos naturais, quer de intervenções humanas (como por exemplo o roubo e comércio ilegal de minerais e fósseis; vandalismo; mineração; ausência de legislação adequada; entre outros). O carste está inserido nesse contexto,

A Geoconservação constitui, hoje, uma das especialidades emergentes que se desenvolve no âmbito das Ciências da Terra. Ela compreende diversas etapas que passam pela inventariação, caracterização, classificação, conservação e divulgação dos geossítios.

Brilha (2005) afirma que, as estratégias de Geoconservação consistem na concretização de uma metodologia de trabalho que visa sistematizar as tarefas no âmbito da conservação do Patrimônio Geológico de uma dada área. Segundo a autor, esse processo deverá ser agrupado nas seguintes etapas sequencias: Inventário, quantificação, classificação, conservação, valorização, divulgação e monitorização.

Cada área deverá passar por um processo de quantificação do seu valor ou relevância. O cálculo da relevância deve contemplar inúmeros critérios que representem feições intrínsecas de cada área (A), o seu uso potencial (B) e o nível de proteção necessário (C). Nessa etapa, será utilizada a proposta de Uceda (2000) para quantificar a área (Quadros 1.3, 1.4 e 1.5):

Quadro 1.3 – A: Critérios intrínsecos ao ambiente em estudo.

	CRITÉRIOS	CARACTERÍSTICAS
A1	Abundância / raridade	Número de ocorrências semelhantes na área em análise, obviamente com a valorização da raridade.
A2	Extensão	Extensão superficial da área em metros quadrados (m ²). Os valores devem ser adaptados caso a caso.
A3	Grau de conhecimento científico	Quantidade e tipo de publicações disponíveis sobre a área que reflete, de certa forma, o grau de importância atribuído pela comunidade acadêmica.
A4	Utilidade como modelo para ilustração de processos geológicos	Possibilidade a área poder representar um certo processo geológico.
A5	Diversidade de elementos de interesse	Número de elementos de interesse: interesse geológico, interesse geomorfológico, paleontológico, mineralógico, estratigráfico, entre outros.
A6	Local – tipo	Condição da área a ser considerada como referência na sua categoria.
A7	Associação com elementos de índole cultural	Presença de ocorrências consideradas patrimônio cultural e natural (evidências paleontológicas, arqueológicas, históricas, artísticas, entre outras).
A8	Associação a outros elementos do meio natural	Ocorrência de exemplos particulares da biodiversidade (fauna e/ou flora).
A9	Estado de conservação	Condições demonstradas pela área no momento da sua caracterização.

Organização: Heleno dos Santos Macedo; Hélio Mário de Araújo, 2015. Fonte: Uceda (2000); Brilha (2005).

Quadro 1.4 - B: Critérios relacionados com o potencial da área.

	CRITÉRIOS	CARACTERÍSTICAS
B1	Possibilidade de realizar atividades	Potencialidade para a realização de atividades científicas, pedagógicas, turísticas e recreativas. É importante valorizar as áreas que tenham interesses científico e pedagógico em relação aos demais.
B2	Condições de observação	Avaliar as áreas de acordo com as condições de observação.
B3	Possibilidade de coleta de madeiras geológicas	Valorizar áreas que apresentem capacidade de coleta de amostras em que haja perda considerável de sua integridade.
B4	Acessibilidade	Considera-se como situação favorável a possibilidade de acesso fácil a área.
B5	Proximidade a povoados	Está relacionada com a existência de serviços de apoio aos visitantes das áreas.
B6	Número de habitantes	Este critério se relaciona com a existência, ou não, de pessoas próximas as áreas.
B7	Condições socioeconômicas	Dados estatísticos sobre as condições socioeconômicas dos habitantes que ocupam as proximidades das áreas.

Organização: Heleno dos Santos Macedo; Hélio Mário de Araújo, 2015. Fonte: Uceda (2000); Brilha (2005).

Quadro 1.5 – C: Critérios relacionados com a necessidade de proteção da área.

	CRITÉRIOS	CARACTERÍSTICAS
C1	Ameaças atuais ou potenciais	Valorizar as áreas que ocorram fora das zonas de expansões urbanas, industriais ou outras, de modo a facilitar a sua classificação e conservação.
C2	Situação Atual	Privilegiar áreas que não possuam nenhum tipo de proteção legal.
C3	Interesse para a exploração mineira	Devido à dificuldade de conjugar o interesse mineiro e a conservação da área, valorizar os locais que não apresentem nenhum interesse para possível exploração mineira.
C4	Valor dos terrenos (Reais/m ²)	Este critério pretende integrar o custo associado a obtenção da área para efeitos de conservação.
C5	Regime de propriedade	Valorizar as áreas que se encontrem em locais públicos, de modo a facilitar a sua possível classificação e conservação.
C6	Fragilidade	Este critério privilegia as áreas que mostrem maior capacidade de resistência face a intervenção humana.

Organização: Heleno dos Santos Macedo; Hélio Mário de Araújo, 2015. Fonte: Uceda (2000); Brilha (2005).

Segundo Brilha (2005), cada critério deve ser quantificado, tendo como base, uma escala crescente de 1 a 5. Após todos os critérios se encontrarem devidamente quantificados, é então, possível determinar um valor final que definirá cada área, tendo em conta seu valor intrínseco, o seu uso potencial e a necessidade de proteção (quadros 1.6, 1.7 e 1.8).

Quadro 1.6 – A: Escala com valores para os critérios intrínsecos ao ambiente em estudo.

	CRITÉRIOS	ESCALA	VARIÁVEL A SER OBSERVADA
A1	Abundância / Raridade	5	Só existem um exemplo na área em estudo.
		4	Existem 2- 4 exemplos.
		3	Existem 5 – 10 exemplos.
		2	Existem 11 – 20 exemplos.
		1	Existem mais que 20 exemplos.

Continuação

A2	Extensão	5	Superior a 1.000.000
		4	100.000 – 1.000.000
		3	10.000 – 100.000
		2	1.000 a 10.000
		1	Menor que 1.000
A3	Grau de conhecimento científico	5	Mais que uma tese de doutorado ou dissertação de mestrado e mais de um artigo publicado em revista internacional.
		4	Pelo menos uma tese de doutorado ou dissertação de mestrado ou mais de um artigo publicado em revista internacional ou mais de cinco artigos publicados em revistas nacionais.
		3	Pelo menos um artigo publicado em revista internacional ou quatro artigos publicados em revistas nacionais.
		2	Algumas notas breves publicadas em revista nacionais ou um artigo publicado em revista regional/ locais.
		1	Não existem trabalhos publicados.
A4	Utilidade como modelo para ilustração de processos geológicos	5	Muito útil.
		3	Moderadamente útil.
		1	Pouco útil.
A5	Diversidade de elementos de interesse	5	Cinco ou mais tipos de interesse.
		4	Quatro tipos de interesse.
		3	Três tipos de interesse.
		2	Dois tipos de interesse.
		1	Um tipo de interesse.
A6	Local – tipo	5	É reconhecido como local – tipo na área de estudo.
		3	É reconhecido como local – tipo secundário.
		1	Não é reconhecido como local – tipo.
A7	Associação com elementos de índole Cultural	5	Existem no local ou nas suas imediações evidências de interesse arqueológico e de outros tipos.
		4	Existem evidências arqueológicas e de algum outro tipo.
		3	Existem vestígios arqueológicos.
		2	Existem elementos de interesse não-arqueológico.
		1	Não existem outros elementos naturais de interesse.
A9	Estado de conservação	5	Perfeitamente conservado, sem evidências de deterioração.
		4	Alguma deterioração.
		3	Existem escavações, acumulações ou construções, mas que não impedem a observação das suas características essenciais.
		2	Existem numerosas escavações, acumulações ou construções que deterioram as características de interesse da área.
		1	Fortemente deteriorado.

Organização: Heleno dos Santos Macedo; Hélio Mário de Araújo, 2015. Fonte: Uceda (2000); Brilha (2005).

Quadro 1.7 - B: Escala com valores para os critérios relacionados com o potencial da área.

	CRITÉRIOS	ESCALA	VARIÁVEL A SER OBSERVADA
B1	Possibilidade de realizar atividades científicas, pedagógicas, turísticas e recreativas	5	É possível realizar atividades científicas e pedagógicas.
		3	É possível realizar atividades científicas ou pedagógicas.
		1	É possível realizar outros tipos de atividades.
B2	Condições de observação	5	Ótimas.
		3	Razoáveis.
		1	Deficientes.
B3	Possibilidade de coleta de objetos geológicos	5	É possível a coleta de minerais, rochas e fósseis sem danificar a área.
		4	É possível a coleta de minerais ou de rochas ou de fósseis sem danificar a área.

Continuação

		3	É possível a coleta de algum tipo de objeto embora danifique a área.
		2	É possível a coleta de algum tipo de objeto embora danifique a área.
		1	Não se podem recolher amostras.
B4	Acessibilidade	5	Acesso direto a partir de estradas federais.
		4	Acesso direto a partir de estradas estaduais ou municipais.
		3	Acesso a partir de caminhos não asfaltados mas facilmente transitáveis por automóveis.
		2	A área localiza-se a menos de 1 km de algum caminho utilizável por automóveis.
		1	A área localiza-se a mais de 1 km de algum caminho utilizável por automóveis.
B5	Proximidade a povoados	5	Existe uma localidade com mais de 10.000 habitantes e com oferta hoteleira variada a menos de 5 km.
		4	Existe uma localidade com menos de 10.000 habitantes e com oferta hoteleira variada a menos de 5 km.
		3	Existe uma localidade com oferta hoteleira entre 5 a 20 km.
		2	Existe uma localidade com oferta hoteleira entre 20 a 40 km.
		1	Só existe uma localidade com oferta hoteleira a mais de 40 km.
B6	Número de habitantes	5	Existem mais de 100.000 habitantes em um raio de 25km.
		4	Existem entre 50.000 e 100.000 habitantes em um raio de 25 km.
		3	Existem entre 25.000 e 50.000 habitantes em um raio de 25 km.
		2	Existem entre 10.000 e 25.000 habitantes em um raio de 25 km.
		1	Existem menos de 10.000 habitantes em um raio de 25 km.
B7	Condições socioeconômicas	5	Os níveis de rendimento per capita e de educação da área são superiores à média nacional e a taxa de desemprego é menor.
		3	Os níveis de rendimento per capita, de educação e de desemprego da área são equivalentes à média nacional.
		1	Os níveis de rendimento per capita, de educação e de desemprego da área são piores em relação à média nacional.

Organização: Heleno dos Santos Macedo; Hélio Mário de Araújo, 2015. Fonte: Uceda (2000); Brilha (2005).

Quadro 1.8 – C: Escala com valores para os critérios relacionados com a necessidade de proteção da área

	CRITÉRIOS	ESCALA	VARIÁVEL A SER OBSERVADA
C1	Ameaças atuais ou potenciais	5	Zona rural, não sujeita a desenvolvimento urbano ou industrial nem à construção de infraestrutura e sem perspectiva de estar submetida à ameaça.
		3	Zona de caráter intermediário sem previsão de desenvolvimentos concretos, mas que apresenta razoáveis possibilidades num futuro próximo.
		1	Zona incluída em áreas de forte expansão urbana ou industrial ou em locais onde está prevista a construção de infraestrutura.
C2	Situação atual	5	Área sem qualquer tipo de proteção legal.
		3	Área incluída em um local com proteção legal (federal, estadual ou municipal).
		1	Área incluindo em uma área protegida integrada no Sistema Nacional de Unidades de Conservação.
C3	Interesse para a exploração mineira	5	A área encontra-se em uma zona sem nenhum tipo de interesse mineiro.
		4	A área encontra-se em uma zona com índice de interesse mineiro.

Continuação

		3	A área encontra-se em uma zona com reservas importantes de matérias de baixo valor unitário, embora não esteja prevista a sua exploração imediata.
		2	A área encontra-se em uma zona com reservas importantes de matérias de baixo valor unitário e em que é permitida a sua exploração.
		1	A área encontra-se em uma zona com grande interesse mineiro para recursos com elevado valor unitário e com concessões ativas.
C4	Valor dos terrenos (reais /m ²)	5	Menor que 5
		4	6 – 10
		3	11 – 30
		2	31 – 60
		1	Superior a 60
C5	Regime de propriedade	5	Terreno predominantemente pertencente ao Estado.
		4	Terreno predominantemente de propriedade municipal.
		3	Terreno parcialmente público e privado.
		2	Terreno privado pertencente a um só proprietário.
		1	Terreno privado pertencente a várias propriedades.
C6	Fragilidade	5	Aspectos geomorfológicos que pelas suas grandes dimensões, são dificilmente afetados, de modo importante, pelas atividades antrópicas.
		4	Grandes estruturas geológicas ou sucessões estratigráficas de dimensões quilométricas que, embora possam degradar-se por grandes intervenções antrópicas, a sua destruição é pouco provável.
		3	Dimensão hectométrica que pode ser destruída em grande parte por intervenções não muito intensas.
		2	Aspectos estruturais com formações rochosas de dimensões decamétricas que podem ser facilmente destruídas por intervenções antrópicas pouco expressivas.
		1	Dimensão métrica, que pode ser destruída por pequenas intervenções ou jazidas minerais ou paleontológicas de fácil depreciação.

Organização: Heleno dos Santos Macedo; Hélio Mário de Araújo, 2015. Fonte: Uceda (2000); Brilha (2005).

O valor final pode ser o resultado da média simples destes três conjuntos de critérios ou de uma média ponderada, privilegiando um dado conjunto de critérios.

A - Critérios intrínsecos ao ambiente em estudo

Máximo: 40

Mínimo: 08

- Relevância da área de estudo
- Máxima relevância: acima de 35
- Alta relevância: 21 a 35
- Média relevância: entre 10 a 20
- Pequena relevância: menor que 10

B - Critérios relacionados com o potencial da área.

Máximo: 35

Mínimo: 07

- Relevância da área de estudo
- Área de Máximo potencial: acima de 30
- Área de elevado potencial: 21 a 30
- Área de médio potencial: entre 10 a 20
- Área de Pequeno potencial: menor que 10

C - Critérios relacionados com a necessidade de Proteção da área.

Máximo: 30

Mínimo: 06

- Relevância da área de estudo
- Máxima proteção: acima de 25
- Elevada proteção: 18 a 24
- Média proteção: entre 12 a 17
- Pequena proteção: menor que 12

Para a quantificação final, deve-se usar o resultado da média simples dos três conjuntos de critérios (ABC):

$$\text{Área de âmbito local/ regional} \quad Q = \frac{A + B + C}{3}$$

Quanto maior for o valor de Q, mais relevante deve ser considerado o ambiente cárstico e, por consequente, mais urgente será a necessidade de serem aplicadas estratégias de Geoconservação.

Logo, Q se enquadra nas seguintes opções:

- 29 a 35 – Máxima relevância
- 22 a 28 – Alta relevância
- 15 – 21 – Média relevância
- 8 – 14 – pequena relevância

1.6 Delimitação espacial da pesquisa

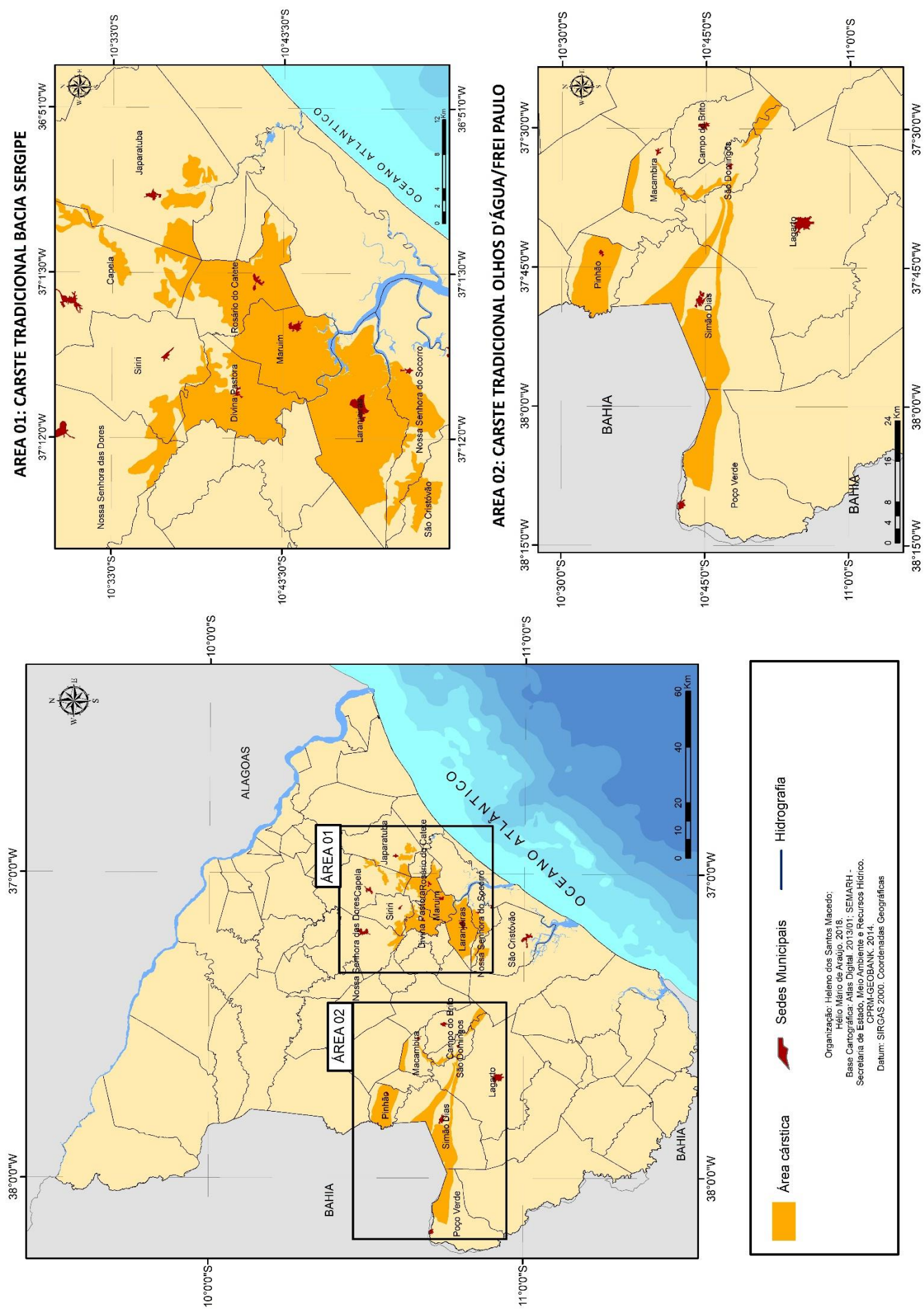
O recorte espacial da pesquisa, compreende as áreas em que se encontram paisagens desenvolvidas sobre rochas carbonáticas, associadas a morfologia cárstica tradicional, dentro do espaço territorial do estado de Sergipe.

Para delimitação desse tipo de morfologia, além da presença das rochas carbonáticas, que por sua natureza são solúveis e permeáveis, outros fatores foram levados em consideração como: a porosidade secundária da rocha (fissuradas e fraturadas); a topografia; a presença de drenagem vertical e subterrânea; percolação da água através das fissuras/fraturas ou condutos; dissolução de CaCO_2 (carbonato de Cálcio); carste subjacente; e a presença de feições sub/superficiais típicas desse ambiente, como, cavernas, dolinas, lapiás, entre outros.

O recorte espacial abrange $1.453,37 \text{ Km}^2$, correspondendo a 6,63% da área total do estado, encontrando-se estabelecidos sobre esse tipo de morfologia (totalmente ou parcialmente) dezessete municípios: Campo Brito, Capela, Divina Pastora, Japarutuba, Lagarto, Laranjeiras, Macambira, Maruim, Nossa Senhora das Dores, Nossa Senhora do Socorro, Pinhão, Poço Verde, Rosário do Catete, São Cristovão, São Domingos, Simão Dias e Siriri. Desses municípios, seis vão concentrar a maior parte da paisagem cárstica tradicional: Divina Pastora, Laranjeiras, Nossa Senhora do Socorro, São Domingos, Simão Dias e Poço Verde.

Para uma melhor caracterização a área de estudo foi dividida em duas partes: Área 01 compreendendo o Carste tradicional da Bacia Sergipe e Área 02 o Carste Tradicional Olhos d'Água / Frei Paulo (figura 1.3).

Figura 1.3 – Áreas Cársticas de Sergipe.



Elaboração: Heleno dos Santos Macedo, 2018.

1.6.1 Área Cárstica Tradicional Bacia Sergipe

O carste tradicional está assentado sobre a Bacia Sedimentar Sergipe, nos Grupos Sergipe e Piaçabuçu. Sobre o Grupo Sergipe encontram-se as Formações Riachuelo e Cotinguiba, e no Grupo Piaçabuçu a Formação Calumbí (CPRM, 1998). Esse setor se caracteriza pelos Membros Angico, Taquari, Maruim e Sapucarí, constituídos por calcário, dolomitos, calcarenitos, calcilutitos, calcirruditos, folhelhos e arenitos, em alguns casos, intercamados ou em níveis isolados, sendo a deposição em plataforma carbonática, por leques aluviais-deltaicos ou em talude (SHALLER, 1969; FEIJÓ, 1994).

Esse setor, corresponde a maior porção do carste sergipano, com aproximadamente 651, 65 km², fixando-se sobre esse recorte, os municípios de Divina Pastora, Japarutuba (porção sul/sudoeste), Laranjeiras, Maruim, Nossa senhora das Dores, Nossa Senhora do Socorro, Rosário do Catete, Santa Rosa de Lima, São Cristóvão e Siriri (figura 1.4).

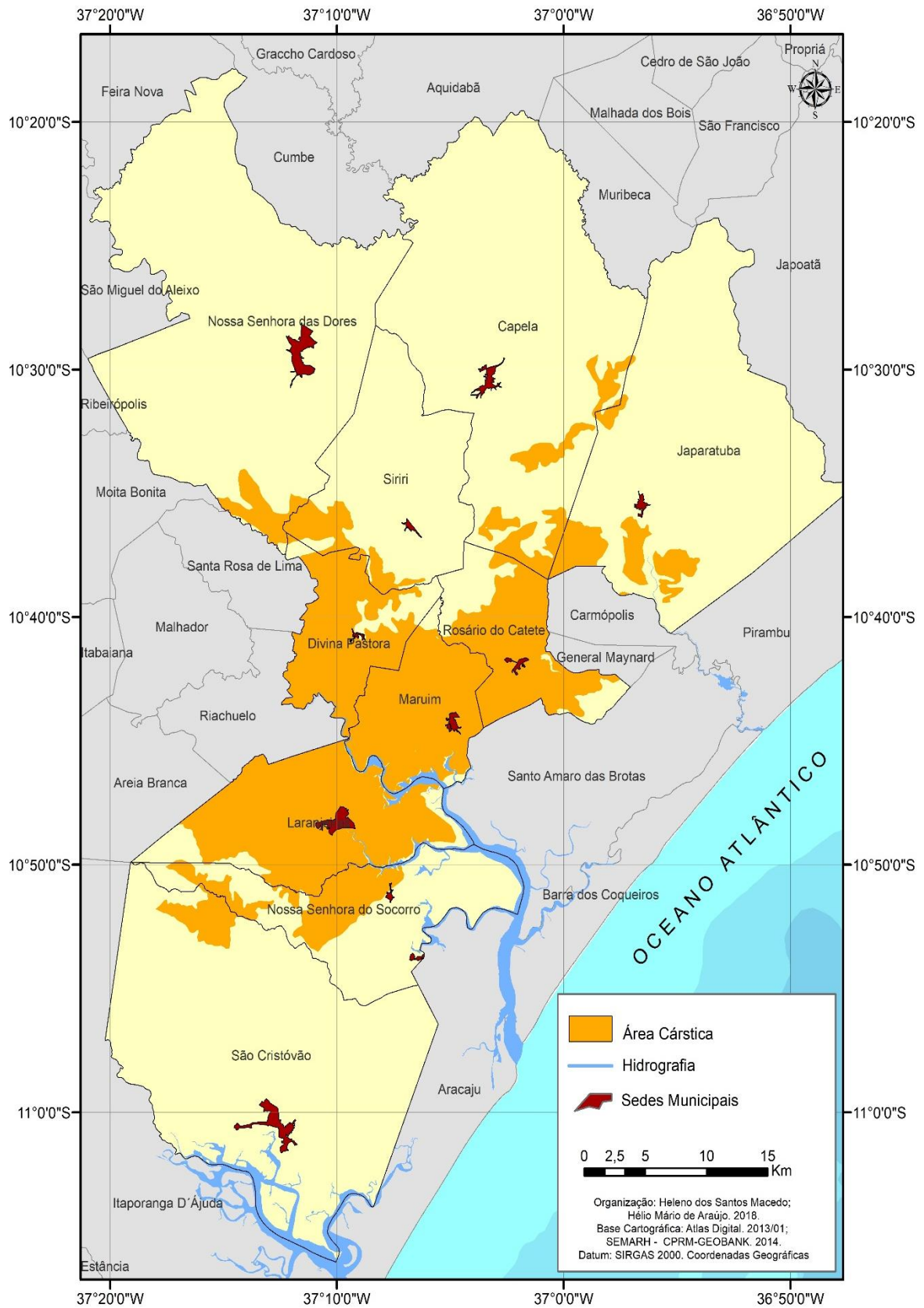
1.6.2 Área Cárstica Tradicional Olhos d'Água/Frei Paulo

Esse setor encontra-se no Domínio Vaza-Barris, localizado na porção central do estado de Sergipe, limitando-se com o Domínio Estância através da Falha do Rio Jacaré, uma zona de cisalhamento rúptil-dúctil, prolongando-se para o leste até a Bacia de Sergipe, e a oeste para trechos fora do limite do estado (CPRM, 1998) – figura 1.5. Esse Domínio é constituído pelo Grupo Vaza-Barris (Formações Olhos d'água e Palestina), Grupo Simão Dias (Formações Frei Paulo e Jacaré) e o Grupo Miaba (Formações Jacosa e Ribeirópolis) além, da presença dos Domos de Itabaiana e Simão Dias (*op.cit*, 1998).

Se caracteriza pela deposição de calcários laminados, calcário e dolomitos oolíticos, metacarbonatos (calcário e dolomito), metacarbonatos e metapelitos (com níveis de *metachert*), metarenitos (micáceos e metassilitos) e quartzitos, sendo deposição em ambientes de plataforma lamosa ou rasa, com eventuais condições de ambiente de intramaré, planícies de maré com tapetes algais, ambiente marinho raso, além, de Cunhas de clástico em ambiente tectônico Instável e vulcanismo (SHALLER, 1969; FEIJÓ, 1994).

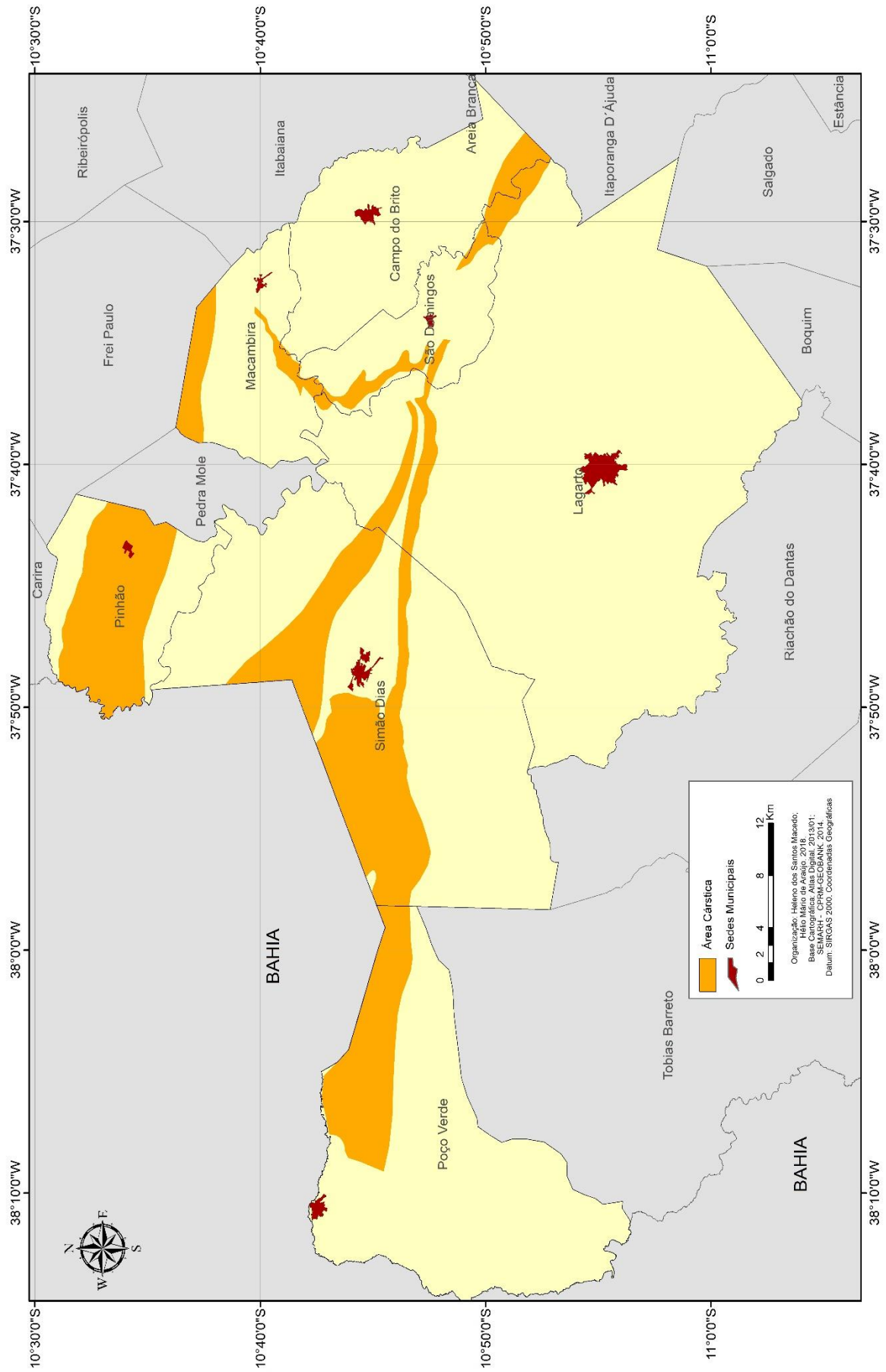
Os municípios que compõem essa área são: Campo do Brito, Macambira, Lagarto, Pinhão, São Domingos, Simão Dias e Poço Verde.

Figura 1.4 – Carste Tradicional Bacia Sergipe.



Elaboração: Heleno dos Santos Macedo, 2018.

Figura 1.5– Carste Tradicional Olhos D'água/Frei Paulo



Elaboração: Heleno dos Santos Macedo, 2018.



02. A PAISAGEM E A SUA NATUREZA SISTÊMICA: A TEORIA DO CAOS E OS SISTEMAS DINÂMICOS NÃO LINEARES E SUA APLICABILIDADE EM ESTUDOS DE PAISAGENS CÁRSTICAS

2.1 A evolução da concepção de Paisagem nas abordagens geográficas

Não existem paisagens iguais, toda paisagem tem suas peculiaridades. As paisagens transformam-se continuamente como resultado das interações entre a ação da natureza e a ação humana. Sua observação detalhada possibilita compreender como as sociedades organizam seu espaço ao longo do tempo.

Milton Santos, em seu livro *A natureza do Espaço* (1998), traz embutida essa nova concepção dessa categoria geográfica. A paisagem para ele é, um conjunto das coisas que se dão diretamente aos nossos sentidos, de maneira que as formas podem, durante muito tempo, permanecer as mesmas. Mas como a sociedade está sempre em movimento, a mesma paisagem e a mesma configuração territorial nos oferecem, no transcurso histórico, espaços diferentes.

A partir da concepção de Santos (1998) sobre paisagem é possível percebê-la como um objeto e um sistema, pois, a paisagem é, evidentemente, uma produção humana, caracterizando-se como um conjunto de elementos/objetos interligados.

Santos (1997), em seu livro *Pensando o Espaço do Homem*, afirma que

[...] a paisagem nada tem de fixo, de imóvel. Cada vez que a sociedade passa por um processo de mudança, a economia, as relações sociais e políticas também mudam, em ritmos e intensidades variados. A mesma coisa acontece em relação ao espaço e à paisagem que se transforma para se adaptar às novas necessidades da sociedade. (SANTOS, 1997, p. 37).

Esse olhar de Santos (1997), trata-se da nova concepção integradora e sistêmica que a categoria paisagem vem adquirindo nesse auge dos debates que tem por princípio diagnosticar e propor ações para a manutenção do equilíbrio na relação sociedade-natureza. O caráter integrador que a paisagem traz consigo, faz dela uma categoria relevante para a ciência geográfica e as demais Ciências da Terra.

A epistemologia do termo paisagem é polissêmico e os sentidos disciplinares a ele relacionados são vagos e variados. Para a geografia, a paisagem é um categoria-chave, ou seja, uma categoria capaz de prover unidade e identidade à geografia em um contexto de afirmação

como ciência. A importância desse conceito, ao longo da história do pensamento geográfico, tem sido variada, “sendo relegado a uma posição secundária, suplantada pela ênfase nos conceitos de região, espaço, território e lugar, considerados mais adequados as necessidades contemporâneas” (CORRÊA e ROSENDAHL, 1998, p. 7).

Para Castro (2005), os geógrafos produziram uma reflexão conceitual própria, adotando os passos de Humboldt e de outros naturalistas românticos sobre o conceito de paisagem. A geografia, tendo como objeto de estudo a paisagem, viabilizou-se enquanto disciplina acadêmica. Esses geógrafos associaram “a paisagem a porções do espaço relativamente amplas que se destacavam visualmente por possuírem características físicas e culturais suficientemente homogêneas para assumirem uma individualidade. ” (HOLZER, 1999, p. 151).

O conceito foi variando de acordo com a escala de observação e os critérios de classificação, conforme a geografia era entendida prioritariamente como ciência natural ou como ciência humana. Mas recentemente a perspectiva de análise integrada do sistema natural e a inter-relação entre os sistemas naturais, sociais e econômicos vêm dando um novo redirecionamento e interpretação ao conceito de paisagem.

Para Venturi (2004), as premissas histórico-linguísticas do conceito de paisagem surgem por volta do século XV no Renascimento, quando ocorre um evidente distanciamento entre o homem e a natureza, bem como a possibilidade de domínio técnico suficiente para poder apropriar-se e transformá-la. Ao chegar no século XIX, o conceito de paisagem começa a transformar-se com os naturalistas alemães dando-lhe um significado científico. Assim, transforma-se em um conceito geográfico, derivando-se em paisagem natural e paisagem cultural.

Nas primeiras e formais sistematizações da Geografia moderna, ocorridas na Alemanha e na França no século XIX, a paisagem trilhava o conceito de natural e cultural. Sendo assim, segundo Brito e Ferreira (2011) girava em torno dela as discussões sobre o objeto da Geografia. A paisagem configurava-se como o cerne dos estudos geográficos, sua compreensão era vital para os processos que se desenrolavam nesse período histórico, no qual as principais potências da Europa ocidental buscavam a expansão de seus recursos/territórios ao longo do globo. Esse interesse pela paisagem parte de duas correntes teórico-metodológicas e filosóficas predominantes na Geografia naquele período: o determinismo e o possibilismo.

O determinismo associado a escola Alemã, abordava a respeito da influência do meio sobre os seres humanos e as sociedades. Conforme Ratzel afirmava, um meio natural mais hostil, proporcionaria um maior nível de desenvolvimento ao exigir um alto grau de organização

social para suportar todas as contrariedades impostas pelo meio (CORRÊA, 2000), por exemplo, o desenvolvimento da sociedade europeia estaria associado às dificuldades provocadas por climas frios, ao passo que os trópicos quentes estimulariam a *preguiça*. Ou então, aquelas afirmativas que os seres humanos das planícies são *guerreiros* porque não contam com uma proteção natural do meio contra invasões, ao ponto que os seres humanos das montanhas seriam mais pacíficos, uma vez que o meio os protegeria contra possíveis ataques.

Na concepção filosófica positivista-determinista, a paisagem assume um caráter descritivo e holístico. Assim, Alexander Von Humboldt (1769-1859), Carl Ritter (1779-1859) e Friedrich Ratzel (1844-1904), seus maiores expoentes, deixam transparecer uma ideia sistêmica em suas principais obras: *Cosmos*, *Geografia Comparada* e *Antropogeografia*, respectivamente.

Nessas obras, apresenta-se uma concepção da paisagem como método e transcrição de dados sobre áreas distintas do planeta, buscando relacionar fatores naturais e humanos. Mesmo que ambos os condicionantes estivessem sendo tratados de maneira isolada, já sabiam que esses poderiam determinar a configuração da paisagem e influenciar na relação homem-natureza. Dessa forma, percebe-se que há uma preocupação em associar eventos/características a outros fatos/fatores, o que posteriormente chamaríamos de estudos integrados.

Brito e Ferreira (2011) sustentam que Alexandre Humboldt influenciado pelos princípios de Kant e Goethe, buscou estabelecer uma ciência que envolvesse a complexidade presente no agrupamento das informações e representações. Objetivando assim, trazer ao alcance do olho humano uma interação estabelecida entre o todo e suas partes.

O pilar do trabalho humboldtiano foi a descrição e a representação das estruturas naturais, nas quais a forma era o elemento integrador (COSTA NETO, 2017). A vegetação surge como elemento integrador entre todas as variáveis climáticas e morfológicas. “Caracterizada como a fonte de toda a interpretação e o entendimento da realidade presente na paisagem, definida pela filosofia do olhar, mas que não se limitava ao universo natural, trazendo para o estudo da Terra o elemento humano, originando uma paisagem geográfica” (COSTANETO, 2017).

Segundo Schier (2003), Von Humboldt destaca-se por sua visão holística da paisagem, de forma que associava elementos diversos da natureza e da ação humana, sistematizando a ciência geográfica. Seu olhar sobre a paisagem concretiza-se com suas viagens, transformando a prática de viagem em conhecimento complexo e integrado. Após esses trabalhos, outros geógrafos procuram definir o conceito de paisagem a partir do significado da ideia da *Landschaft*, termo alemão utilizado para a concepção da paisagem. Esses geógrafos

aproximam-se da ideia positivista de Humboldt, que vê na paisagem um conjunto de relações de fatos naturais, uma visão sistêmica.

Com Carl Ritter e sua obra, a geografia tornou-se, além do positivismo-determinista dinâmico e histórico, uma ciência enciclopédica, organizando o conhecimento sobre determinados países e regiões (MOREIRA, 2006). A paisagem não era o principal objeto de estudos de Ritter, que se dedicou em maior grau às descrições e análises regionais. Porém, considerava-a como elemento chave, pois os fenômenos nelas existentes ocorreriam em diversas regiões de maneira sistematizada.

Diferentemente de Humboldt e Ritter, Friedrich Ratzel usou o conceito de paisagem com um caráter antropogênico, evidenciando que ela é o resultado do distanciamento do espírito humano do seu meio natural (SCHIER, 2003). Dessa forma, delineia-se uma dialética entre os elementos fixos da paisagem natural (o solo, o relevo, as coberturas vegetais, os rios, entre outros) com os elementos móveis, em geral, os elementos humanos.

O possibilismo, associado à denominada Escola Francesa, alegava que as sociedades modificam o meio e, desse modo, modificam também a si próprias. Não existindo uma influência total do meio sobre os seres humanos e as sociedades, pois ambos procuram adaptar-se às condições encontradas e, à medida que fazem isso, modificam sua espacialidade, sua sociabilidade, assim como suas condições de existência (CORRÊA, 2000).

Os seguidores do possibilismo não atribuíam às condições ambientais a responsabilidade absoluta pela pobreza da população regional. Na concepção deles, o meio ambiente poderia proporcionar possibilidades que seriam, ou não, aproveitadas em função do modelo de vida, das necessidades das populações. Nessa perspectiva, a natureza era considerada como fornecedora de possibilidades para o homem modificá-la a seu favor, bastando intervi-la para adequá-la às suas necessidades.

Essa corrente do pensamento geográfico teve como principal personagem o francês Paul Vidal de La Blache (1845-1918). Este, traz de novo para o campo da análise a ideia de que *O HOMEM* não sofre ação do *MEIO NATURAL* e sim age sobre o *MEIO*. Por isso, ele o vê como um sujeito ativo, isto é, um agente geográfico que atua sobre o meio natural. De acordo com seu pensamento, o homem não só tem influência no meio natural, como tem a opção de criar possibilidades para sobreviver.

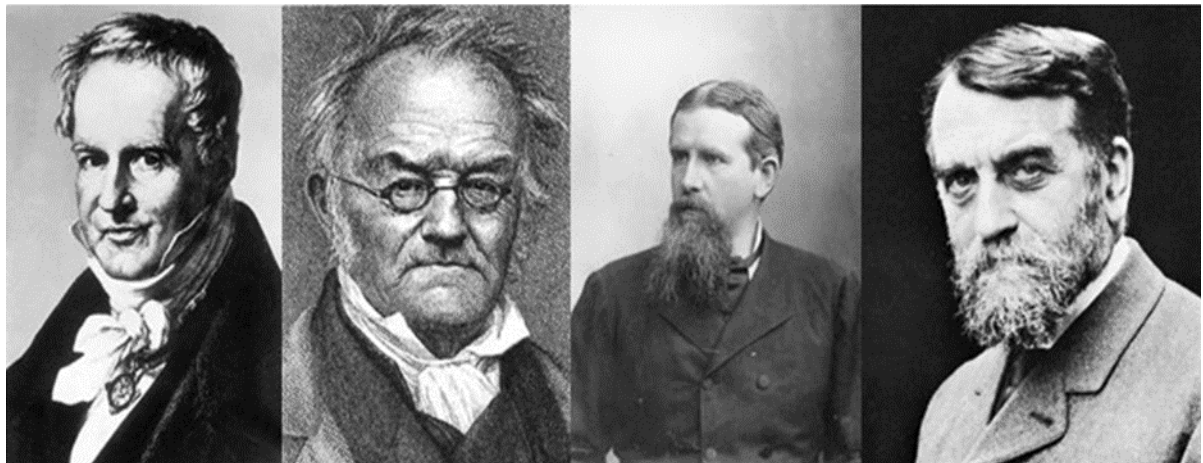
Essa concepção de relação entre *O HOMEM* - *MEIO NATURAL* de La Blache, deixa transparecer de maneira subjetiva uma concepção sistêmica da paisagem. Mesmo essa, como categoria de análise, não ser um termo corrente nas obras de La Blache, e quando citada, acaba se confundindo com o termo região, o mais importante conceito vidalino (NAME, 2010).

Ao observar Bertalanffy (1976) afirmando que os sistemas são abertos e sofrem interações com o ambiente onde estão inseridos, sendo essa interação responsável em gerar retroalimentações que podem ser positivas ou negativas, criando-se sobre a paisagem uma auto-regulação regenerativa, percebe-se o que La Blache afirmava ao alegar que:

O homem estaria inserido nessa complexa rede de relações, sendo ora passivo, ora ativo, pois quando se depara com as possibilidades do meio, tem inteligência para aumentar os recursos e utilizá-los de forma satisfatória (...) o meio e quais os fatores que colocaram a superação dos obstáculos que a natureza não oferecia (...) A partir disso, ocorreu uma separação por obstáculos, como montanhas. Nesse isolamento, em sua relação com o meio o homem teria engendrado seu modo de vida, levando à criação de técnicas capazes de transformar o ambiente (LA BLACHE, 1954, p. 40).

É evidente que mesmo não sendo contemporâneos da Teoria Geral dos Sistemas, Von Humboldt, Ritter, Ratzel e La Blache contemplam em suas propostas teórico-metodológicas, ainda que subjetivamente, a ideia ou existência de uma integração entre os meios naturais e humanos, bem como suas consequências respectivamente, sendo a paisagem o palco dessas transformações, em seus mais variados recortes espaciais (figura 2.1).

Figura 2.1 - Von Humboldt (A), Ritter (B), Ratzel (C) e La Blache (D) percussores do processo de sistematização da geografia moderna (determinismo e possibilismo).



Fonte: <http://anotherScale2.blogspot.com.br>

Ao longo do seu processo de sistematização no decorrer do século XX, a Geografia percebe a necessidade de buscar teorias/metodologias em outras ciências, nas quais a interpretação ou entendimento de suas categorias, inclusive a paisagem, possam revelar a dinâmica do espaço geográfico em suas mais variadas facetas. Cabendo à Geografia Teórica-Quantitativa, a responsabilidade de difusão da concepção sistêmica.

A partir de 1950, com o surgimento da Geografia Teórico-Quantitativa, a Geografia passou a ser considerada como uma ciência social ou espacial, marcando, entretanto, uma redução na importância do conceito de paisagem e uma grande relevância a categoria espaço (BRITO e FERREIRA, 2011).

A Geografia Teórico-Quantitativa ou Nova Geografia, consolidou-se como corrente do pensamento geográfico em um mundo pós-Segunda Guerra, em um cenário de destruição e caos socioeconômico. Dessa forma, fez com que os geógrafos buscassem novas formulações para superar a crise econômica imposta pelo modelo capitalista. Esta corrente efetua uma crítica à geografia tradicional pela sua insuficiência da análise tradicional.

A Nova Geografia caracterizava-se pelo uso de métodos matemático-estatísticos. Essa nova geografia desenvolveu-se principalmente, nas décadas de 1960 e 1970. Na essência, buscava a substituição do trabalho de campo pelos experimentos laboratoriais, com muitas mensurações, dados estatísticos, gráficos e tabelas bastante sofisticadas (MOREIRA, 2006). A própria denominação Teórica dava a ideia do rompimento com os trabalhos empíricos. E, a estatística era o principal caminho para se chegar à comprovação de hipóteses e esclarecimentos de fenômenos geográficos.

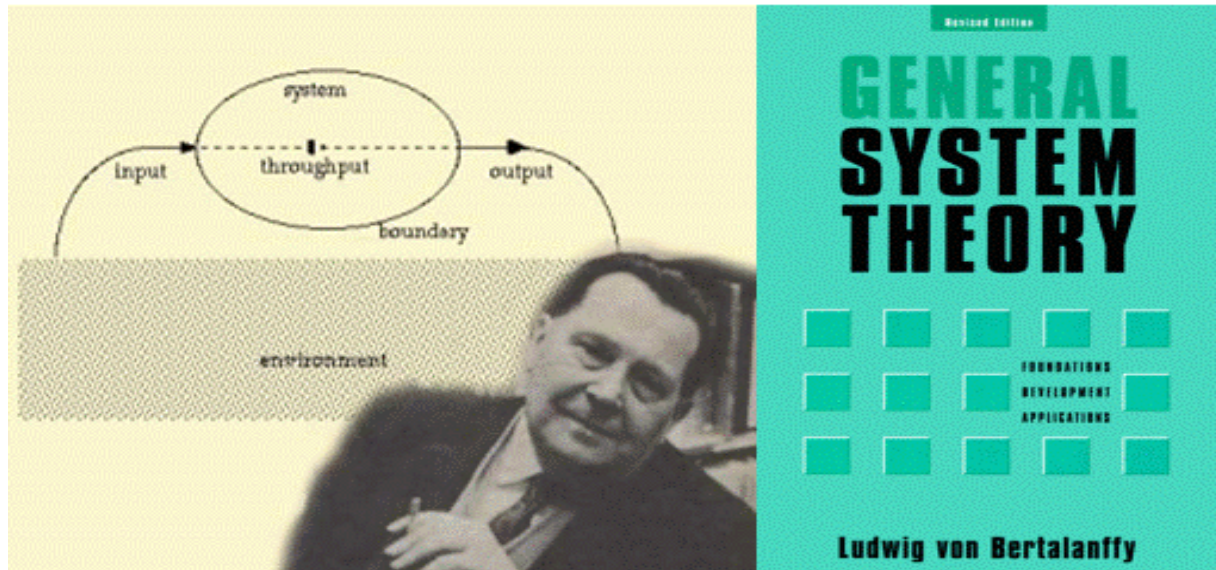
A atenção, nesse período, voltou-se para dois objetivos: o primeiro, de buscar aperfeiçoamento de metodologias de quantidade; o segundo, de desenvolver ações construtivas de padrões sistemáticos relacionados à natureza e ao homem. No final dos anos 1960 e começo dos anos 1970, voltaram a ser discutidos os cuidados com o meio ambiente. Antes disso, esse tema foi relativamente esquecido por muito tempo.

É nesse momento científico que a abordagem sistêmica passa a ser utilizada definitivamente como método para análise, a princípio, entre outros ramos das Ciências da Terra, sendo adotada posteriormente pela Geografia.

A teoria sistêmica, idealizada sob o ponto de vista teórico-metodológico, foi proposta na década de 1920 pelo biólogo Ludwig Von Bertalanffy (figura 2.2). Esta, com a denominação de Teoria Geral dos Sistemas, tinha como objetivo de constituir-se em um amplo campo teórico e conceitual, levando a uma noção de mundo integradora, a respeito da estrutura, organização, funcionamento e dinâmica dos sistemas (CHRISTOFOLETTI, 1999).

A pesquisa de Von Bertalanffy fundamentou-se em uma visão diferente do reducionismo científico, até então aplicada pela ciência convencional. Coube a Teoria Geral dos Sistemas romper com esse reducionismo científico e iniciar uma nova fase no processo de desenvolvimento da ciência, abrindo a porta para as mais diversas áreas do conhecimento, fortalecendo-se como modelo teórico-metodológico até o presente momento.

Figura 2.2 - Ludwig Von Bertalanffy, e o seu livro “*General System Theory*”



Fonte: https://www.iim.cz/wiki/index.php/Ludwig_von_Bertalanffy

A aplicabilidade desse conhecimento, inicialmente, foi inserida na Geografia pela escola anglo-americana em pesquisas de cunho hidrológico, climatológico e geomorfológico. Os trabalhos pioneiros na associação da ideia e aplicação de sistema na literatura geográfica pertencem a Strahler (1950; 1952), Culling (1957) e Hack (1960). Sob o enfoque da teoria sistêmica, a paisagem começa-se a ser humanizada, seja por meio de amostragens ou pela quantificação com influência de autores como Horton, Chorley, Scheidegger, Hack, entre outros (DE NARDIN, 2009).

Nesse intervalo de tempo, em que a Teoria Geral dos Sistemas repercutia nos diversos ramos da ciência, surge na década de 1960, a ascendência de uma outra corrente do pensamento geográfico, denominada de Geografia Crítica. Esta viria encobrir, principalmente nos países latino-americanos, a nova concepção da categoria paisagem e da abordagem sistêmica. Essa corrente do pensamento introduzia ideologias políticas, econômicas e sociais aos estudos geográficos, por meio das análises de Marx e Engels.

Em 1968, é publicado *Antipode: a radical journal of Geography*, editado por Richard Peet, tendo como primeiro artigo *Positions, Purposes, Pragmatics: A Journal Of Radical Geography*, escrito por David Stea. Este, introduz na academia uma importante publicação para discussões no âmbito da ciência geográfica (CAVALCANTI, 2011).

Como marco teórico para a análise marxista do espaço, Harvey (1973) procura os fundamentos e sua aplicação aos problemas socioeconômicos de expressão espacial e Blaut (1975) procura pelos trabalhos destinados a propor análises sobre o desenvolvimento e imperialismo orientados para o *Terceiro Mundo*.

Lacoste (1976) publica *Hérodote* procurando revelar o caráter político da Geografia e *La géographie, ça sert, d'abord, à faire la guerre* no mesmo ano, com discussões do conceito de Geografia Política e Geopolítica, desde a escala regional até continental. Smith (1977), em *Human Geography: a welfare approach*, traz propostas para a reformulação da Geografia Humana. E, Peet (1978) com uma coletânea de artigos em *Radical Geography*, na qual é feita análise de pesquisadores engajados nessa temática de orientação anarquista, remontando suas origens aos trabalhos pioneiros de Kropotkin e Reclus (CAVALCANTI, 2011).

De acordo com a perspectiva dessa abordagem, a paisagem é o ponto de partida para a aproximação de seu objeto de estudo, que é o espaço geográfico. A paisagem é expressa na forma do espaço ou sua manifestação visível, concebida e percebida, na qual a identificação das regiões deve basear-se no que é essencial no processo de produção do espaço ou a divisão socioespacial.

A ideia sistêmica não era clara e relevante para essa abordagem, posto que o espaço geográfico era produzido em função do interesse das classes sociais dominantes. Porém, a preocupação com o modo de produção da sociedade que as classes sociais compõem, apresentava um caráter sistêmico ao procurar entender como o homem vive em sociedade e produz o espaço onde habita. E ainda, transforma a natureza no espaço geográfico, apresentando uma ideia de inter-relação entre o homem e meio natural, assim como as forças desiguais que são estabelecidas pelas diferenças no acúmulo do capital.

No final da década de 1970 surgiu a Geografia Cultural, assentada na fenomenologia, no existencialismo, na retomada matriz historicista, na subjetividade, intuição, nos sentimentos, no simbolismo (BRITO e FERREIRA, 2011).

O ponto de vista fenomenológico, em Geografia, permitiu abrir novos campos de pesquisa, suscitando o interesse pelas percepções, representações, bem como atitudes diante do espaço. Além disso, ele tornou possível a utilização de novos métodos, demandando recursos para a interpretação, descrição, introspecção ou análise das comunicações.

Nessa concepção, a paisagem é compreendida como uma representação, um valor, uma dimensão do discurso e da vida humana, ou ainda, uma formação cultural. A paisagem “real” (paisagem em verdadeira grandeza) e relativa a uma operação de “paisageamento”. Besse (2006), afirma que a paisagem “real”, “visível”, é o produto às vezes contraditório de um conjunto de intenções e de ações humanas que torna possível a aplicação de métodos iconológicos ao estudo da paisagem.

Nessa abordagem, a paisagem é uma categoria chave como fonte da subjetividade do imaginário e das relações afetivas. A paisagem é definida como um organismo social,

considerando um espaço subjetivo, sentido e vivido por cada ser humano, um espaço individualizado.

É a partir dessa década que a paisagem passa a ter um enfoque, definitivamente, mais sistêmico. Na visão de Cabral,

[...] a concepção sistêmica entende a paisagem como realidade objetiva, como o resultado de uma combinação dinâmica e, por conseguinte instável, de elementos físicos, biológicos e humanos. Essa interação é singular para cada porção do espaço e torna a paisagem um conjunto individualizado, indissociável e em contínua evolução. A categoria que mais reflete essa noção de inter-relação e complexidade é o Geossistema, que, como uma classe de sistema aberto, dinâmico, flexível e hierarquicamente organizado, corresponde, teoricamente, a uma paisagem nítida e bem circunscrita (CABRAL, 2007, p. 150).

A propósito, o enfoque geossistêmico contribui para revitalizar o caráter de integração e de totalidade da paisagem geográfica, podendo também privilegiar a coexistência de objetos e formas em sua face sociocultural, fornecendo inúmeras leituras sobre sua realidade. (MACEDO, 2014).

Vitor Sotchava, especialista siberiano, foi quem apresentou em 1960 o termo Geossistema (Sistema Geográfico ou Complexo Natural Territorial) à comunidade científica internacional. Para Sotchava, o geossistema é um fenômeno natural que inclui todos os elementos da paisagem como um modelo global, territorial e dinâmico, aplicável a qualquer paisagem concreta (BOLÓS y CAPDEVILA, 1992).

Rodriguez e Silva (2002), afirmam que Sotchava utilizou toda teoria sobre as paisagens (*Landschaft*) elaborada pela escola russa, interpretando-a sob uma visão da Teoria Geral dos Sistemas. Isso permitiu que o conceito de paisagem fosse considerado como sinônimo de geossistema, sendo essa, portanto, formada por atributos sistêmicos fundamentais, tais como, a estrutura, o funcionamento, a dinâmica, a evolução e a informação.

A proposição teórico-metodológica e prática apresentada por Sotchava (1977) foi um marco significativo para a mudança de postura dos geógrafos diante dos problemas de planejamento e desenvolvimento econômico e social, assim como dos problemas ambientais. A geografia deixa de ter uma postura analítico-descritiva para uma geografia preocupada com a aplicação dentro de um discurso sustentável da humanidade.

Autores como Bertrand (1972), Sotchava (1977), Bolós (1981), Tricart (1977), Troppmair (2000), Monteiro (2001), Christofletti (1999), Araújo (2007), Cavalcanti (2014), Macedo (2014), entre outros, preconizam que para os estudos em Geografia nos últimos anos, a visão geossistêmica, como abordagem metodológica, vem caracterizando-se como seu

objetivo fundamental. Ao considerar que os geossistemas correspondem a fenômenos naturais (fatores geomorfológicos, climáticos, hidrológicos e vegetação), porém, englobando os fatores econômicos e sociais que, juntos, representam a paisagem modificada, ou não, pela sociedade.

A partir da década de 1980, os mais variados ramos científicos, inclusive a geografia, voltam suas atenções para situações de complexidades crescentes nos sistemas ambientais. O que se caracterizava por situações de estabilidade ou instabilidade passa a ser observado sob a ótica do indefinido, ou seja, a relação entre os sistemas pode abranger situações bem mais complexas.

Uma nova orientação é dada aos estudos da paisagem, pela Teoria do Caos e da Complexidade. Nesse contexto, a questão ambiental ganha outra dimensão. Na atualidade, usa-se o conceito de suscetibilidade de paisagem, que considera a paisagem como um sistema complexo composto de rochas, depósitos superficiais, relevo, plantas, animais e sociedade, sofrendo permanentes transformações espaciais e temporais em função da dinâmica dos processos (GUERRA e MARÇAL, 2006).

Dessa maneira, como categoria de análise, a paisagem assume, ao longo da evolução do seu conceito, o caráter sistêmico, embutindo nela a capacidade de expressar por meio do tempo, a história e as características da ação humana sobre o meio em que vive. Uma vez que, a Geografia busca conhecer o espaço geográfico e, sobre este, entende-se como o espaço produzido pelo homem que está em constante transformação ao longo do tempo, cabendo aos pesquisadores que usam essa categoria, identificar a melhor metodologia para compartimentá-la e classificá-la.

2.2 A Teoria do Caos e os Sistemas Dinâmicos Complexos ou Não Lineares

Desde que Isaac Newton (1642 – 1727) demonstrou matematicamente que os processos naturais poderiam ser descritos através de leis determinísticas, a natureza e seus eventos vêm sendo pensados como algo contínuo e previsível. Porém Camargo (2008) afirma que essa lógica vem sendo questionada com o aparecimento de novas formas de entender a natureza, como o surgimento do acaso e da descontinuidade, com o advento da mecânica quântica e o uso de computadores na modelagem de sistemas naturais.

O determinismo clássico, afirma que o estado de um sistema em dado instante determinará seu comportamento em seu estado ulterior. A concepção newtoniana declara que quando se conhece a posição e a velocidade de um sistema, pode-se saber qual será o seu estado em qualquer instante. Todo movimento é determinado; o estado do movimento presente no

universo é suficiente para fixar seu futuro, pois o fluxo do tempo newtoniano é contínuo e matematicamente preciso (Ruelle, 1993; Davies, 1999).

Mas também pode existir uma situação de “co-determinismo”, na qual a determinação é colocada no presente ou na simultaneidade dos processos. Nesse caso, supomos que nem todo efeito está totalmente contido na causa, isto é, que o próprio efeito pode simultaneamente interagir (causalmente) com outros efeitos (Ruelle, 1993; Davies, 1999).

A Teoria do Caos, ao contrário, não percebe similaridade com todas as dinâmicas deterministas. Segundo essa teoria, algumas dinâmicas, que têm seu fluxo identificado e mesmo que possuem previsibilidade zero de qualquer alteração em seu fluxo, podem sofrer pequenas variações internas e romper radicalmente com seu regime previsto (CAMARGO, 2008).

Dauphiné (1995) afirma que a transição da ordem para a desordem ocorre em função das variáveis presentes nos sistemas, e que, devido a à sua complexidade, propicia a passagem do estado periódico para o estado de caos.

Borman (1991) define sistemas caóticos como aqueles que apresentam irregularidades e extrema sensibilidade às condições iniciais. Parecem completamente randômicos, mas são essencialmente deterministas. Isto é, podem ser descritos por equações matemáticas normalmente simples. Porém, se não se conhece as condições iniciais, é inviável prever o que vai acontecer. E conhecer as condições iniciais é geralmente impossível.

O caos matemático tem um sentido diferente da palavra grega “Caos”, que traduz a completa desordem e confusão. O caos matemático tem sua definição como comportamento estocástico que ocorre em um sistema determinístico, ou seja, enquanto o primeiro remete a um processo sem lei, aleatório e irregular, o segundo refere-se a um comportamento conduzido por leis exatas, não possível de infração (Stewart, 1991).

Borman (1991) aponta a primeira referência histórica do tema ao matemático francês Jules Henri Poincaré (1854-1942) que notou a existência de comportamentos mais complexos que os simples movimentos periódicos.

Um referencial importante na literatura de divulgação da Teoria do Caos foi o trabalho de James Gleick (1989). Relata o surgimento da Teoria do Caos simultaneamente nos vários campos científicos, ressaltando esta sua característica de interdisciplinaridade espontânea. Ele descreve os primeiros passos da Teoria como um misto de poesia e encantamento. Explora de forma simpática o estereótipo do pesquisador que procura respostas para questões impossíveis como a dinâmica das quedas d’água e da formação de nuvens.

O primeiro e mais famoso marco da Teoria está nos estudos do meteorologista Edward Lorenz, do MIT. Trabalhando, no início da década de 60, sobre simulações, em computadores,

de modelos de previsão de tempo, Lorenz, ao repetir uma série de cálculos, inadvertidamente modificou o número de casas decimais no programa. Após alguns instantes, os gráficos gerados tomaram comportamentos completamente diferentes dos anteriores. Comprovou-se, assim, a enorme sensibilidade do sistema às condições iniciais.

Esta descoberta colocou em cheque o princípio de causa e efeito, pelo qual estes dois eventos seriam dependentes em magnitude. Como o sistema montado por Lorenz era não linear, pequenas causas poderiam gerar grandes efeitos. Surgiu daí a popular frase de que “uma borboleta batendo asas no Brasil poderia provocar um tornado no Texas, em realidade título de um trabalho de Lorenz” (CAPRA 1996).

Robert May (1984) biólogo da *Princeton University*, descobriu, nos anos 1970, um modelo matemático simples para a dinâmica da população de insetos usando apenas duas variáveis: taxa de reprodução e suprimento de alimento. O modelo, comprovado na prática, revelava comportamentos complexos e ciclos regulares. Mitchell Feigenbaum, um físico do Laboratório Nacional de Los Alamos, conseguiu demonstrar que a fórmula de May (1984) era genérica e poderia ser aplicada a muitos fenômenos na natureza (WOOD JUNIOR, 1993).

Outro nome importante no desenvolvimento da Teoria do Caos é o do pesquisador Benoit Mandelbrot, da IBM. Seu trabalho foi voltado para a geometria fractal, que trata de objetos que têm como característica comum a propriedade de, não importa quão ampliadas sejam suas imagens, os novos detalhes aparecerem na mesma escala da figura anterior. O que chama a atenção nestas figuras, geradas em computador a partir de fórmulas matemáticas, é a sua semelhança com imagens encontradas na natureza como folhas de árvores, cristais, vales e montanhas (CHRISTOFOLETTI, 2014).

Todas estas descobertas colocaram em cheque a ciência baseada em relações simples de causalidade, que ignorava as regiões turbulentas do mundo real, dando origem a um novo campo científico. A Teoria do Caos, desde então, vem rompendo fronteiras entre disciplinas, reunindo pensadores de campos separados e revertendo a tendência de dissecação e compartimentagem da ciência.

Uma ideia central na Teoria do Caos é a da modelagem, a capacidade de um corpo de ideias de servir de ferramenta para a simulação e o estudo de sistemas. Simon (1990) realizou uma interessante síntese sobre esta questão a partir das possibilidades abertas pela Teoria do Caos. O autor parte do princípio que o mundo é mais complexo que qualquer modelo e que a natureza é capaz de gerar comportamentos e dinâmicas mais ricas que a capacidade de apreensão de conjuntos de equações. Mesmo um sistema muito complexo pode ser modelado de forma que algumas conclusões importantes possam ser tiradas.

Quando modelamos a paisagem estamos interessados no comportamento dinâmico. Existem três hipóteses sobre essa necessidade: prever o futuro a partir de condições iniciais; saber se existem posições estáveis de equilíbrio; ou verificar os resultados de intervenções voluntárias.

Ao modelarmos um sistema, as seguintes questões precisam ser analisadas:

1. Grau de detalhes temporais;
2. Adequação de substituição dos conhecimentos temporais por informações do estado estacionário;
3. Possibilidade de uso de propriedades hierárquicas dos sistemas para simplificar o modelo;
4. Adequação de substituição de modelos numéricos por modelos simbólicos e vice-versa.

Duas questões essenciais na modelação são a predição e a prescrição (WOOD JUNIOR, 1993). Elas refletem nosso grande fascínio pela possibilidade de prever o futuro ou nele interferir conscientemente. A Teoria do Caos não apresenta soluções para o problema da previsão mas mostra os limites à sua tratabilidade.

Por outro lado, embora não auxilie o conhecimento dos passos de um sistema em detalhe, ajuda a separar os períodos de equilíbrio estável e instável. Já quando os modelos servem a uma estratégia de intervenção, a questão desloca-se da previsão para a prescrição. Também neste caso, nem sempre interessa a evolução contínua do sistema, e sim ordens de grandeza relacionadas ao seu macrocomportamento.

2.2.1 Sistemas Dinâmicos Complexos ou Não Lineares

A Teoria do Caos tem como objeto de estudo os sistemas dinâmicos complexos ou não lineares (Lorenz, 1996; Prigogine e Stengers, 1992; Morin, 1990; Capra, 1996; Waldrop, 1992; Christofletti, 2014). A teoria dos sistemas dinâmicos, segundo Capra (1996), teve seu maior desenvolvimento muito recentemente, mas seus fundamentos estão nos trabalhos do matemático francês Jules Henri Poincaré (1854 – 1912), no fim do século XIX.

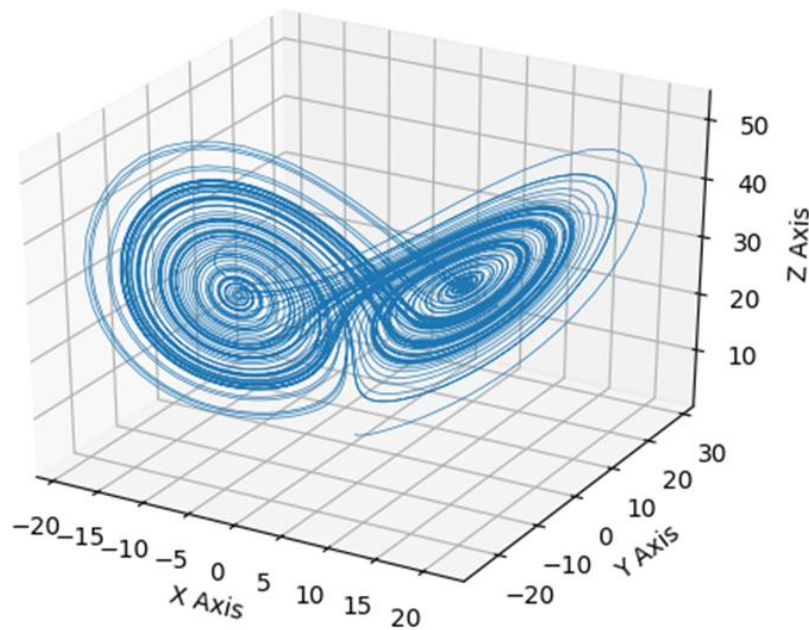
Os sistemas dinâmicos complexos são definidos como um conjunto de grande quantidade de elementos interligados, com capacidade de trocar informações com seu entorno condicionante, possuindo também a capacidade de adaptar sua estrutura interna como sendo consequências ligadas às tais interações (CHRISTOFOLETTI, 2014).

Os sistemas complexos correspondem aos sistemas não lineares, que são aqueles cuja resposta a um determinado distúrbio não é necessariamente proporcional à intensidade deste distúrbio (CAPRA, 1996).

Sistemas dinâmicos descrevem matematicamente entidades em movimento, permitindo classificar e prever seu comportamento no tempo (LOPES, 2013). Pode depender tanto de variáveis observáveis como de variáveis não-observáveis, e consiste de duas partes: um estado (condição atual) e uma dinâmica (como o estado do sistema evolui no tempo). Quando um sistema dinâmico não apresenta a propriedade de linearidade (princípio da superposição de efeitos) ele é denominado sistema dinâmico não linear.

De modo geral, o termo “não linear” refere-se a todas as estruturas que não apresentam um único sentido, com múltiplos caminhos e destinos, desencadeando em múltiplos cenários finais. Assim, um sistema dinâmico não linear evolui no tempo com um comportamento desequilibrado e aperiódico, onde o seu estado futuro é extremamente dependente de seu estado atual, e pode ser mudado radicalmente a partir de pequenas mudanças no presente (figura 2.3).

Figura 2.3 – O atrator de Lorenz.



Fonte: Gleisser, 2002.

Um sistema não linear pode apresentar um comportamento de estado estacionário que não é equilíbrio, nem oscilação periódica, nem oscilação quase periódica, sendo denominado caos (LOPES, 2013).

Um sistema caótico apresenta um fenômeno fundamental de instabilidade chamado sensibilidade às condições iniciais que, modulando uma propriedade suplementar de recorrência, torna-os não previsíveis na prática a longo prazo.

Poincaré foi o precursor dos estudos sobre sistemas de comportamento caótico (desorganizado), não periódico e irregular. Mas, foi nas décadas de 1960 e 1970, a partir do desenvolvimento de poderosos computadores, que a teoria dos sistemas não lineares, ou complexos, torna-se uma área de pesquisa em franca ascensão ligada a diversos campos tradicionais da ciência: matemática, informática, física, química, biologia, geografia, sismologia, ecologia, economia, sociologia, entre outros (GLEICK, 1989; OLIVEIRA, 1993).

A partir da teoria dos sistemas dinâmicos ficou demonstrado que os sistemas complexos formam a maioria dos sistemas encontrados na natureza e nas sociedades, como por exemplo: o tráfego numa rodovia, as atividades dos neurônios no cérebro, as funções fisiológicas na saúde ou doença, fenômenos climáticos e geológicos, o funcionamento de uma sociedade, etc. Esses sistemas complexos não podem ser compreendidos e tratados pelos pressupostos das ciências clássicas (LEWIN, 1994; CAPRA, 1998; GUERRINI, 1998).

Segundo Parker e Stacey (1995), Anderson e Johnson (1997), vivemos dentro de sistemas e somos influenciados por eles, pois os sistemas estão ao nosso redor. O mundo funciona como um conjunto de sistemas complexos se movendo, se auto organizando, exibindo características que emergem da interação entre as partes de cada sistema e entre esses próprios sistemas. As estruturas do meio natural, tais como as organizações, as relações sociais, a economia e os mercados, são sistemas complexos adaptativos devido aos seguintes fatores:

- São sistemas, isto é, agrupamentos de partes que interagem entre si com um propósito, constituindo um todo sinérgico (o todo é maior do que a soma das partes) e em permanente relação de interdependência com o ambiente (PARKER e STACEY, 1995).
- São formados por vários agentes adaptativos (partes) que interagem entre si e estão dentro de um meio ambiente constituído por outros sistemas com os quais mantêm intercâmbio de energia e/ou informação (PHELAN, 1995; CHIAVENATO, 2000).
- São dinâmicos, pois estão em evolução constante, isto é, o tempo é uma variável do sistema. Uma das características das organizações é a sua adaptação e aprendizado, que ocorrem o tempo todo com o ambiente, a consequência é uma constante evolução, isto é, as organizações como os sistemas complexos adaptativos mudam ao longo do tempo à medida que evoluem e interagem com o ambiente (STACEY, 1998; NUSSENZVEIG, 1999; GLEISER, 2002).

- São sistemas não lineares devido à presença simultânea, nas suas múltiplas interações e retroações entre suas partes e o ambiente, de *feedbacks* positivos e negativos gerando um estado de desequilíbrio. Devido a estes *feedbacks*, os sistemas respondem de forma irregular, ampliada e inesperada às mudanças no seu interior e/ou no ambiente, quebrando os vínculos entre causa e efeitos precisos. As organizações e os mercados não funcionam segundo linhas retas (PARKER e STACEY, 1995; DAFT e LENGEL, 2001).
- São adaptativos porque seus vários agentes (partes) modificam suas ações em função dos eventos gerados no processo de interação (PHELAN, 1995).

Os sistemas não lineares são designados como sistemas complexos devido a capacidade de modelagem interconecta e do caráter não linear. Esse tipo de sistema possui tem importantes características. A primeira característica importante deste sistema é o processo de realimentação (*feedback*), pois pequenas mudanças podem provocar efeitos diversos, podendo ser ampliado pelos processos de realimentação. A segunda trata-se da existência de níveis críticos, ou seja, são patamares a partir dos quais um sistema se desequilibra e a terceira característica trata do cálculo da dimensão Fractal, uma nova geometria que auxilia a descrição das formas naturais com o uso de simples equações (CHRISTOFOLETTI, 2014).

Os sistemas dinâmicos complexos, apresentam também três tipos de variáveis: a variável independente (como o tempo); a variável dependente (como uma forma de relevo), e variável parâmetros, que são grandezas que influenciam comportamento do sistema (podem ser constantes ou não) (PHELAN, 1995).

Os sistemas não lineares possuem diversas aplicações em vários ramos da ciência. Algumas das formas mais utilizadas para compreender o funcionamento do cérebro são voltadas para localizar quais regiões estão ativas (comunicações elétricas entre neurônios) durante a execução de alguma tarefa (processo cognitivo) (GUERRINI, 1998).

Para compreender melhor o funcionamento cerebral, deve-se ir além de apenas listar as regiões ativas e estudar como elas interagem e de que forma suas relações se modificam dinamicamente. Esses estudos são baseados em séries temporais de sinais neurofisiológicos e como essas séries se relacionam. A partir dos sinais elétricos cerebrais, gerados pelos diferentes processos biológicos, físicos e químicos, pode-se fazer uma análise para inferir, mais detalhadamente, a direção do fluxo de informação entre as diferentes estruturas, com algoritmos que trazem uma medida direta de informação de tais processos.

Podem também serem aplicados em sistemas sociais, sistemas da informação, telecomunicações, economia, processos de morfogênese e morfodinâmica da paisagem, linguística, entre outras.

Caso os valores de uma ou mais séries atuem como preditores e eles sejam não lineares, o resultado da previsão de um comportamento geralmente é pouco confiável com trechos curtos de dados. Existem várias técnicas para analisar séries isoladamente e relacionar o comportamento temporal de grandezas distintas quando essas relações se dão de forma linear. Para sistemas não lineares, pode-se modelar séries segundo os estimadores de entropia aproximada¹ e de entropia amostral² (LOPES, 2013). Tais métodos consistem na descrição do nível de complexidade e/ou variabilidade da série no tempo.

A entropia representa o valor médio da informação (grau de incerteza) associada às probabilidades dos objetos de um evento (variável aleatória discreta ou contínua ou processo). Nos processos onde há perda de informação, há uma situação igual aos processos que ganham entropia.

Os estudos sobre a Teoria do Caos são recentes e necessitam de mais trabalhos teóricos e empíricos para sua construção e modelação. Sua aplicação pode abranger ramos distintos das ciências, auxiliando a criação de instrumentos que facilitem a compreensão dos vários sistemas. A Teoria do caos surge como uma tentativa de entender fenômenos naturais e sociais que apresentam comportamento aparentemente aleatório, mas que, se analisados de forma estatística, são gerados por sistemas determinísticos (GLEISER, 2002).

2.3 Carste: Conceitos e Histórico

De todos os tipos de rocha que a terra possui, as chamadas carbonáticas, ou simplesmente calcários, mármore e dolomitos, são as que apresentam composição química ideal para a formação de espaços vazios.

São rochas originalmente formadas por deposição nos mares e oceanos pela atividade de organismos como corais e moluscos. Ainda nos oceanos, esses sucessivos depósitos orgânicos são erodidos e formam partículas que são transportadas e sedimentadas como camadas horizontais, ou não. Esse processo ocorre numa escala de milhares a milhões de anos.

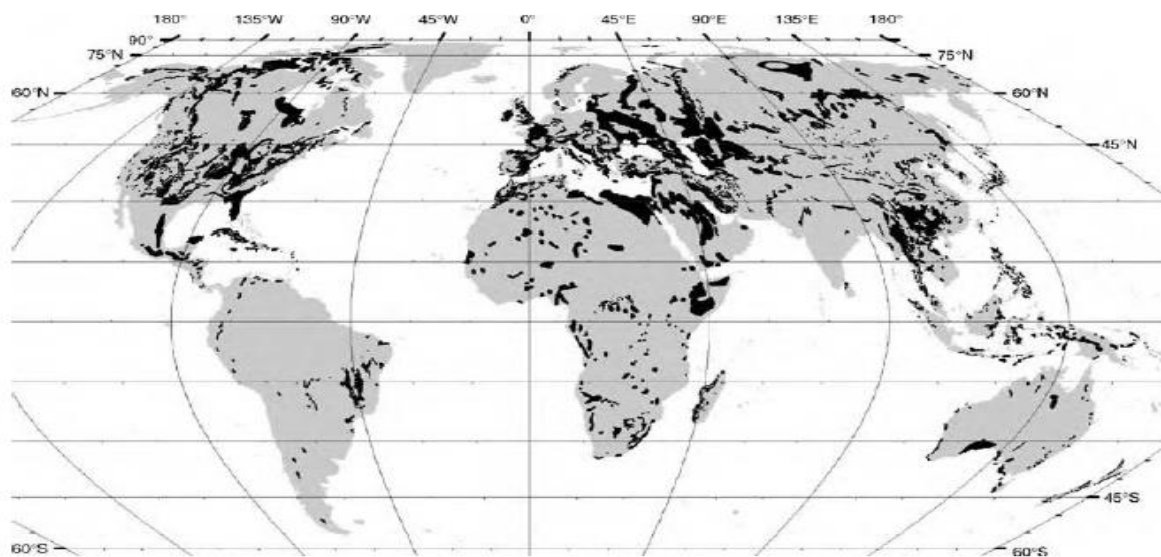
¹ Entropia Aproximada (ApEn), do inglês *Approximate Entropy*, é uma medida de regularidade que quantifica a complexidade de uma série temporal (Yentes, 2013). A ApEn foi proposta por Pincus na década de 90 e é explicada em seu trabalho original em 1991 e 1995.

² Entropia amostral (SampEn) é uma medida de regularidade que quantifica a complexidade de uma série temporal (Yentes, 2013), porém, seus resultados são mais consistentes, pois não há mais a contagem da própria ocorrência de um padrão.

Tais rochas apresentam porosidade e discontinuidades por onde a água pode penetrar e realizar o processo de dissolução, aumentando a permeabilidade.

As áreas cársticas compreendem cerca de 10 a 15% da superfície terrestre, principalmente, as desenvolvidas em rochas carbonáticas como, por exemplo, o calcário e o dolomito (FORD e WILLIAMS, 2007) – figura 2.4. Tais regiões vêm sendo utilizadas desde os primórdios da humanidade como fontes de alimentos, abrigo. Foram locais para o estabelecimento dos primeiros assentamentos humanos devido à disponibilidade tanto de água potável como de alimentos (TRAVASSOS, 2010).

Figura 2.4 – Distribuição das regiões cársticas pelo planeta.



Fonte: Ford e Willians, 2007.

Para Suguio (2010) o relevo cárstico caracteriza-se por apresentar feições superficiais do terreno que resultam de importantes processos de dissolução, tanto por águas superficiais como subterrâneas.

Christofolletti (1980) e Bigarella (2007) afirmam que uma das características principais de uma paisagem cárstica é a presença de drenagem de sentido predominantemente vertical e subterrânea (criptorreica), seguindo fendas, condutos e cavernas, resultando na completa ausência de cursos de água superficiais. Além disso, Bigarella (2007) alega que a paisagem cárstica apresenta aspectos ruiformes e esburacados, preponderantemente desenvolvidos em formações calcárias (calcários e dolomitos).

Em função da rocha, mais do que qualquer outra variável, o carste é fortemente condicionado por processos hidrogequímicos através da água rica em CO_2 e naturalmente

acidulada (Bigarella, 2007). Assim, a corrosão das rochas superficiais e subterrâneas favorece os processos morfogenéticos responsáveis pela dinâmica e evolução do relevo.

Dessa forma, sua gênese deve ser compreendida como a complexa consequência do fato de que o carbonato tende a ser dissolvido por águas naturais, transformando a paisagem em um cenário fascinante tanto na superfície quanto em profundidade (SWEETING, 1972; WHITE 1988; KOHLER, 1989; FORD & WILLIAMS, 2007, TRAVASSOS, 2010).

Para White (1988), as paisagens cársticas são criadas pela dissolução química da rocha encaixante. As formas de relevo características dos relevos cársticos são as depressões fechadas, de variados tamanhos e arranjos, drenagens de superfície interrompidas e cavernas e drenagens subterrâneas. Também afirma que o carste ocorre em rochas carbonáticas, gipsita e, em extensão menor, em algumas outras rochas, sem, no entanto, especificá-las.

A definição mais recente caracteriza o carste como um sistema integrado para a transferência de massa em rochas solúveis, com permeabilidade estrutural dominada por canalículos oriundos da dissolução da rocha, e cuja organização facilita a circulação de fluidos. (KLIMCHOUK; FORD, 2000). É importante notar, nessa definição, a não ligação com uma litologia específica.

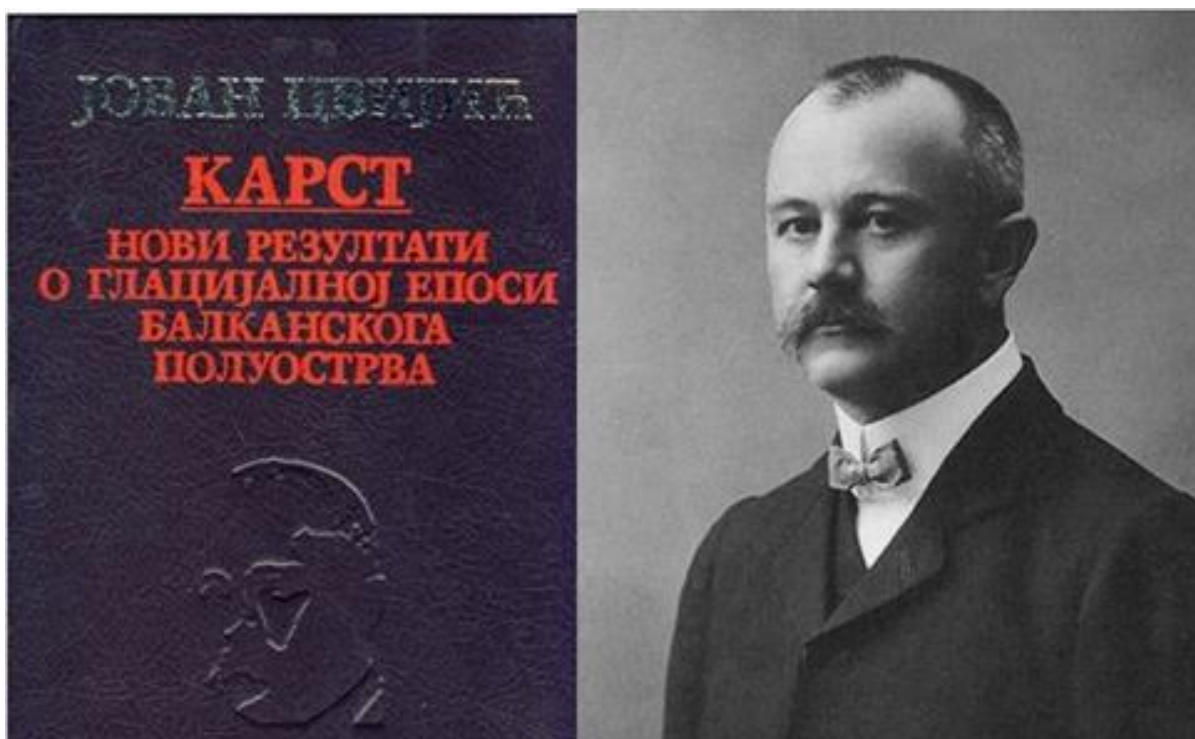
Para Hardt (2004), “os fenômenos cársticos” que definem a paisagem, apresentam feições similares em todo o mundo, desde que tais áreas possuam hidrologia tipicamente subterrânea e ativa sobre rochas solúveis e com porosidade secundária desenvolvida. De acordo Christofoletti (1980), Kohler (1989), Bigarella (2007), Travassos (2010) o teor de carbonato de cálcio da rocha, sua estrutura de acamamento e fraturamento, amplitude topográfica, volume das águas e o clima, constituem-se nas principais variáveis que contribuem para a corrosão do relevo sobre as rochas carbonáticas.

Sendo assim, as principais variáveis que contribuem para a corrosão do relevo sobre as rochas carbonáticas devem ser compreendidas sob a ótica da Teoria dos Sistemas. Ford e Williams (2007) consideram tais paisagens como grandes sistemas abertos compostos de dois subsistemas integrados (o hidrológico e o geoquímico) operando sobre rochas suscetíveis à corrosão.

Além de sua complexidade natural, a paisagem cárstica apresenta recursos naturais abundantes (água e rocha), mas não inesgotáveis, que precisam ser preservados. No carste, a indústria de cimento torna-se principal fator de risco ao cenário ambiental. Tal necessidade de preservação se faz ainda mais importante pela presença dos aquíferos utilizados como mananciais para o abastecimento de cidades (GAMBARINI, 2012).

O estudo deste tipo de relevo iniciou-se com as observações dos antigos filósofos gregos e romanos, formalizadas cientificamente na região do Planalto de Kras, na Eslovênia (TRAVASSOS, 2010). Através das pesquisas sistemáticas que levaram a uma melhor compreensão dos processos que originavam esse tipo de paisagem, Jovan Cvijić em 1893, internacionalizou esse sistema ambiental através de sua obra *Das Karstphenömen* (Op. cit.) – figura 2.5.

Figura 2.5 – Jovan Cvijic e sua obra *Das Karstphenömen* (*Os Fenômenos Cársticos*).



Fonte: <http://www.gi.sanu.ac.rs/en/>

A bacia do Mediterrâneo é o berço de estudos cársticos. Embora os reis assírios antigos entre 1100 a.C e 852 d.C. realizassem os primeiros registros sobre exploração de cavernas no vale do rio Tigre, os filósofos gregos e romanos fizeram as primeiras contribuições científicas sobre o carste, bem como, contribuíram para a mitologia que, como o Rio Styx, ainda hoje, possuem o nome dado pelos primeiros “espeleólogos” gregos (FORD; WILLIAMS, 2007).

Pfeiffer (1981) identificou cinco épocas no desenvolvimento de ideias sobre as águas subterrâneas cársticas, a partir de o intervalo de 600-400 a.C até o início do século XX: Thales (624-548? a.C); Aristóteles (385-322 a.C) e Lucrécio (96-45 a.C) formularam conceitos sobre a natureza da circulação de água; Flavius no primeiro século d.C.; e Milanovic em 1991, realizaram a primeira tentativa conhecida com o uso de traçadores em aquíferos cársticos, na bacia do Rio Jordânia.

Um viajante grego e geógrafo do século II d.C., Pausanias, também relata experiências em drenagem em áreas cársticas, que foram interpretados como uma prova a conexão entre um córrego ao lado do dissipador de Lago Estínfalo (BURDON; PAPAKIS 1963). O entendimento conceitual da hidrologia estabelecido por estudiosos gregos e romanos permaneceu a base dessa temática até o século XVII, quando Perrault (1608-1670), Mariotte (1620-1684) e Halley (1656-1742) começaram a transformar suas pesquisas em hidrogeologia em terrenos cársticos, em uma ciência quantitativa, mostrando, entre outras coisas, as relações entre a evaporação, infiltração e vazões.

Também no século XVII, a compreensão de *cavernas cársticas* estava avançando através da publicação de pesquisas feitas por estudiosos em várias partes do mundo, tais como, por estudiosos como Xu Xiake na China e Valvasor na Eslovénia (FORD; WILLIAMS, 2007).

No final do século XVIII, passou a ser compreendido o papel do ácido carbônico no processo de dissolução do calcário (Hutton 1795). O conceito de intemperismo químico sobre a rocha carbonática foi provada em 1854, através de cálculos obtidos a partir do cálcio dissolvido de Bischof, em um experimento realizado com amostras de carbonato do Rio Reno (TRAVASSOS, 2010).

Em 1875 Goodchild, a partir da estimativa de taxas de desgaste de superfícies de rochas calcárias no norte da Inglaterra, avaliando os processos de corrosão, obteve-se conclusões sobre a ação da água nesse tipo de litologia. Em 1883, o primeiro estudo de estilo moderno de solução desnudação tinha sido concluída (FORD; WILLIAMS, 2007).

Em meados do século XIX, foi um período muito significativo para o avanço da compreensão de paisagens desenvolvidas sobre o calcário. Na Grã-Bretanha, Prestwich (1854) e Miall (1870) investigaram a origem da andorinha-buracos, enquanto no continente europeu, impressionante progresso foi feita no estudo de Lapiás por Heim (1877), Chaix (1895) e Eckert (1895), entre outros (FORD; WILLIAMS, 2007). Mas, entre as muitas excelentes contribuições naquele período, os trabalhos de Jovan Cvijic sobre carste ganham destaque mundialmente.

Seu livro lançado 1893, *Das Karstphänomen*, lançou as bases das ideias modernas em geomorfologia cárstica, variando ao longo das paisagens, de lapiás a poljés. Sua contribuição para a nossa compreensão de dolinas, é considerado ainda hoje, uma das principais referências. De acordo Sweeting (1972), a sua investigação em dolinas, forneceu os primeiros parâmetros para obtenção de morfometria em geomorfologia cárstica, e sua conclusão, de que, a maioria das dolinas têm uma origem a partir de processos de dissolução resiste até hoje.

Ford e Williams (2007) afirmam, que o papel da litologia tornou-se um tema mais explícito nos últimos trabalhos de Cvijic, melhor expresso em um dos seus últimos trabalhos,

publicado em 1925, no qual, ele introduziu os termos e Holocarste e Mesocarste. O Holocarste, seria o carste puro, não influenciado por outra rocha, e desenvolvido em rochas calcárias espessas que se estendem bem abaixo do nível de base. O Mesocarste (ou metade do carste) é desenvolvido em finas sequências de calcários intercalados com outras rochas, bem como, em áreas com menos formações puras de carbonato.

Ainda no século XIX, também foi uma época de notável avanço na compreensão dos fluxos de águas subterrâneas. Embora os experimentos de Hagen (1839), Poiseuille (1846) e Darcy (1856) não foram especificamente relacionada com áreas cársticas, forneceram a base teórica para uma explicação mais tarde quantitativa das águas subterrâneas. Em 1874 foi feita a primeira tentativa para analisar a hidrogeologia de uma grande área cárstica. Esta foi uma investigação utilizada por Beyer, Tietze e Pilar (FORD; WILLIAMS, 2007).

Em 1903 Grund afirma que, as águas subterrâneas em terrenos cársticos são regionalmente interligadas e controladas, em última instância, pelo nível do mar. Ele previa uma zona saturada no prazo de carste, a nível superior, dos quais coincide com o nível do mar na costa, mas, subiria por baixo das colinas interiores (hoje chama-se isso de superfície do lençol freático).

Hardt (2004) salienta que, em 1930, Davis ressaltava que as investigações sobre a origem das cavernas não deveriam conter deduções sobre características esperadas, mas observação mais detalhadas sobre as características atuais. Já Lowe (2000) afirma que Davis foi provavelmente o primeiro a enfatizar as vastas escalas de tempo envolvidas na formação das cavernas.

Swinnerton (1932 *apud* LOWE, 2000), apesar de admitir que a dissolução pudesse ocorrer em zonas freáticas profundas, acreditava ser esse fato de menor importância, defendendo que a dissolução ocorreria principalmente na oscilação do nível freático. Segundo Hardt (2004), em 1935, Gardner elaborou hipóteses sobre a formação de cavernas acima do nível freático, enquanto em 1939, Laptev descrevia a natureza do efeito de corrosão de mistura. Em 1941 Rhoades e Sinacori publicaram um trabalho teórico sobre a modificação do fluxo de água subterrânea em função do crescimento regressivo de uma caverna no nível freático (LOWE, 2000).

Em 1942 Bretz foi o primeiro pesquisador a descrever a formação de cavernas acima ou abaixo do nível freático, e, tomando emprestado termos de outros geomorfólogos, referiu-se aquelas situações como zonas freáticas e vadosas (LOWE 2000).

Após esse período, White (2000) propõe o início do *período moderno*, em que o controle saísse do nível freático, partindo para investigações sobre os processos e mecanismos

do desenvolvimento de cavernas. Segundo o autor, os avanços conceituais mais importantes foram:

- Ênfase renovada nos controles pela estrutura geológica;
- Reconhecimento de que as cavernas fazem parte da hidrogeologia dos aquíferos carbonáticos;
- Compreensão ampliada do equilíbrio químico e cinético da dissolução de rochas carbonáticas.

Ainda, segundo White (2000), desenvolvimentos conceituais mais recentes estão relacionados ao reconhecimento de que existem cavernas halóclinas (devido à mistura de águas saturadas doce e salgada, próximo aos oceanos), cavernas hidrotermais (formadas por nascentes térmicas) e cavernas geradas por dissolução do ácido sulfúrico, todas resultantes de mecanismos distintos do desenvolvimento relacionado à água subterrânea associada ao ácido carbônico.

White (2000) descreve as ideias atuais como provenientes de três aproximações diferentes a partir da perspectiva da geologia; da perspectiva da hidrologia cárstica e da perspectiva da química e da mecânica de fluidos. Destaca, ainda, que as três perspectivas são necessárias para compreensão da espeleogênese. Tais conceitos poderiam ser vinculados a um período contemporâneo.

2.4 A Teoria do Caos como suporte teórico para a compreensão dos Sistemas Cársticos

A Teoria do Caos enquadra-se como a melhor base teórica para a compreensão do uso do termo sistemas para o desenvolvimento de morfologias cársticas. Isso ocorre porque os sistemas cársticos, assim como qualquer sistema complexo, apresenta a capacidade de modelagem interconecta e de caráter não linear, ou seja, a grande quantidade de elementos a ele conectados podem responder de diversas formas qualquer distúrbio que venha ocorrer no sistema.

Por apresentarem uma quantidade maior de componentes e interações, nos sistemas complexos há maior gama de possíveis reações às mudanças nos fatores externos. Os efeitos podem ser atenuados, tal como visto por dissipação da energia em alguma transformação pontual, ou então incrementados por sinergia entre as partes, ou pela propagação ou difusão de determinado impulso através de alguma cadeia de interações (Howard 1965; Brunsten e Thornes 1979; Christofolletti 1999). Pela mesma razão, os efeitos e os ajustes podem ocorrer imediata e globalmente, em etapas e setorialmente, gradual e lentamente, ou ainda se manifestar com grande retardo após o distúrbio.

É evidente que, quanto mais complexo o sistema, mais imprevisível é a maneira como ele pode evoluir. Nesse sentido, um aspecto realmente importante sobre o modo como os sistemas cársticos se comportam frente uma perturbação, é o fato dos componentes e segmentos (os seus subsistemas) apresentarem diferentes graus de sensibilidade à perturbação, reagindo de maneira muito heterogênea em termos de intensidade e tempo de resposta (reação e relaxamento) ao distúrbio.

O carste deve ser entendido como um conjunto organizado de certos elementos característicos que existem sob circunstâncias específicas, relacionam-se e interagem mediante a mecanismos ou processos definidos, produzindo efeitos discerníveis e configurando um cenário ou mosaico de características próprias e comportamento típico, sendo por isso delimitável como um sistema distinto (SÁNCHEZ *et. al.*, 2016).

Para uma visão verdadeiramente sistêmica do carste, é necessário que todos esses quesitos sejam reconhecidos: constituintes, estrutura, funcionamento e fatores controladores, bem como suas funções internas (autorreguladoras) e externas.

O comportamento não linear dos sistemas cársticos é mediante a interação entre os fluxos de matéria e energia existentes no sistema. A matéria, segundo Christofolletti (1979), corresponde ao material que vai ser mobilizado por meio do sistema, transformando-os e produzindo produtos como outputs. A energia é a capacidade de realizar trabalho ou fornecer calor. Quando o trabalho é realizado ou o calor é fornecido, ocorre uma interação, uma mudança observável em uma parte do sistema e é correlacionada com uma mudança correspondente em outra (Quadro 2.1).

Além dos fluxos de matéria energia, somam-se ao sistema, os processos químicos e físicos, responsáveis pela transformação da matéria; os mecanismos de retroalimentação; a interação entre a morfologia e a dinâmica dos sistemas, a fim de salientar a interação entre as formas e os processos. Quando os processos resultam da transformação de todos os materiais inicialmente presentes em algo diferente, pode-se dizer, que o sistema atingiu o encadeamento dos elementos.

Os sistemas cársticos podem ser classificados de acordo com o critério funcional ou conforme a sua complexidade estrutural. Levando em consideração o critério funcional, o carste pode ser classificado como um sistema aberto, pois ocorrem constantes trocas de matéria e energia. De acordo com a complexidade estrutural, pode ser classificado como sistemas morfológicos, sistemas em sequência e sistemas de processos-respostas.

Quadro 2.1 – Fluxo de matéria e energia para sistemas cársticos em formação de dolinas.

FLUXOS	MOBILIZAÇÃO	ELEMENTOS DINÂMICOS DO SISTEMA
ENERGIA	Energia que entra	Radiação solar; Ondas eletromagnéticas de diferentes comprimentos: curtas/ultravioleta – visível (luz) e curtas-médias/infravermelho (calor); Radiação terrestre e terrestre refletida (infravermelho termal).
	Energia que sai	Radiação solar refletida na superfície; Energias potenciais convertidas em trabalho na dolina; Energia cinética (movimentos da água, movimentos de massa e partículas); Processos metabólicos, químicos e bioquímicos (fotossíntese, decomposição, intemperismo).
MATÉRIA	Matéria que entra	Soluções e solutos – águas e compostos dissolvidos; Água de chuva (precipitação direta); Água de escoamento superficial e subsuperficial (<i>runoff</i>); Substâncias químicas dissolvidas; Gases (incluindo o ar); Particulados inorgânicos e orgânicos trazidos pela água, pelo vento e por animais; Animais e vegetais (sementes, pólen etc.).
	Matéria que sai	Água (por escoamento superficial, infiltração, evapotranspiração); Gases (convecção, evaporação, respiração, transpiração e decomposição); Particulados inorgânicos e orgânicos levados pela água, pelo vento e por animais; Animais e vegetais; Matéria de transformação na dolina (energia matéria).

Elaboração: Heleno dos Santos Macedo, 2018.

Fonte: Sánchez *et al.*, 2016.

Os sistemas morfológicos são compostos somente pela associação das propriedades físicas do fenômeno (geometria, composição, entre outros). Correspondem às formas, sobre as quais podem-se escolher diversas variáveis a serem medidas (comprimento, granulometria, altura, largura, declividade, entre outras).

Os sistemas, em sequência, são compostos por uma cadeia de subsistemas, possuindo tanto magnitude espacial quanto localização geográfica. Estas são dinamicamente relacionadas por uma cascata de matéria e energia. Nessa sequência, a saída de matéria e energia de um sistema torna-se a entrada para o subsistema de localização adjacente.

Os sistemas processos-respostas são formados pela combinação de sistemas morfológicos e sistemas em sequência. Os sistemas em sequência indicam o processo, enquanto o morfológico representa a forma, a resposta a determinado estímulo. Ao definir os sistemas de processos-respostas, a ênfase maior está focalizada em identificar as relações entre o processo e as formas que dele resultam. (CHRISTOFOLETTI, 1980).

Para entender as possibilidades e intensidades de mudanças sobre o carste, há necessidade de se conhecer a estabilidade do sistema, cujos processos de reajustes internos baseiam-se em circuitos de retroalimentação. Este constitui-se como sendo uma propriedade apresentada pelos sistemas, a de que o efeito de uma alteração volte a atuar sobre a variável ou elemento inicial, produzindo uma circularidade de ação.

Esse procedimento torna-se útil para discernir as oscilações inerentes aos processos de absorção, fazendo com que as alterações ocasionadas pela viabilidade nos inputs sejam integradas na manutenção do estado de estabilidade, daquelas modificações que levam à instabilidade e às mudanças no estado do sistema.

A característica de retroalimentação (*feedback*) - pequenas mudanças podem provocar efeitos diversos – é fundamental no entendimento dos sistemas cársticos. Pode-se identificar três tipos de retroalimentação no carste: negativa, positiva e controladas.

1. Retroalimentação negativa: Ocorre quando uma variação externa produzida leva ao estabelecimento de um circuito fechado de alteração. Este, tem a função de diminuir ou estabilizar o efeito da mudança original. Essa situação é indicada por um circuito com número ímpar de sinais negativos de correlação.

2. Retroalimentação positiva: Ocorre quando os circuitos entre as variáveis reforçam o efeito da ação, externamente produzida, sempre no mesmo sentido da influência original. Esse tipo de retroalimentação não promove a estabilização do sistema, mas, sim, a sua destruição. Esse circuito pode ter sinais negativos de correlação, mas se acaso apresentá-los, eles devem ser em quantidade par.

3. Sistemas controlados: São aqueles que apresentam atuação do homem sobre os sistemas de processos-respostas. A complexidade é aumentada pela intervenção humana.

Essa variedade de processos de retroalimentação para sistemas cársticos ocorre, justamente, devido a magnitude de variáveis envolvidas nesse complexo sistema. É importante salientar que os processos de retroalimentação podem ocorrer em etapas separadas, controlados pelos eventos internos e/ou externos, porém, seus resultados são visíveis de maneira integrada.

Outro ponto importante, é que no caso da retroalimentação negativa e positiva, o tempo é um fator decisivo, já que não há participação direta do homem, porque, os eventos que provoquem ou possam provocar mudanças no sistema cárstico (tectonismos, mudanças climáticas, rebaixamento do nível d'água, entre outros) abrange uma escala têmporo-espacial dentro da perspectiva cronológica de milhares de anos, sendo então, eventos que podem não ser perceptíveis ao homem, sem auxílio de modelos que facilitem a compreensão desses fatos.

Partindo desse fato, é importante para o processo de construção de modelos para sistemas cársticos, considerar a dinâmica evolutiva do sistema. Para isso, faz-se necessário caracterizar as alterações ocorrentes devido às transformações observadas ou simuladas nas características dos fatores condicionantes naturais, relacionados com as atividades antrópicas.

Para a construção de modelos para estudos em sistemas cársticos, faz-se necessário revisitar modelos que descrevam processos e dinâmicas, morfoestruturais, processos climáticos, comportamento da drenagem superficial e dos fluxos hídricos, modelos de processos geoquímicos, modelos que abordem a relação sociedade–natureza e o desempenho de atividades econômicas, os impactos ao meio ambiente, entre outros. Os principais modelos para estudos que envolvem sistemas cársticos são:

- a) **Modelos para processos geológicos-geomorfológicos:** A construção de modelos conceituais, expressando processos geológicos e geomorfológicos, é ampla. Em geral, não procuram caracterizar o fluxo de matéria e energia, mas representar a dinâmica subjacente e a morfologia resultante.
- b) **Modelos para processos de drenagem superficial e dos fluxos hídricos:** A bacia de drenagem compreende um conjunto de unidades estruturais, destacando-se as formas de relevo representadas pelas vertentes e as relacionadas diretamente com os canais fluviais. Em qualquer segmento, ao longo de um rio, o uso de procedimentos para a ordenação fornece informações relacionadas com a escala de grandeza e a posição no conjunto da rede.
- c) **Modelos para processos geoquímicos:** os processos envolvidos nos sistemas geoquímico, acompanha o desenvolvimento do ciclo hidrogeológico. O *input* é fornecido pela queda de material seco e úmido, sendo a lixiviação da vegetação um dos processos iniciais. Os processos de escoamento pela superfície, o intemperismo, a mineralização e as interações entre sedimentos e solutos são os principais, levando à evacuação dos solutos para os canais fluviais.
- d) **Modelos descrevendo os processos climáticos:** A caracterização dos processos climáticos e a caracterização dos fluxos de energia nos sistemas climáticos são temas constantemente focalizados. Envolvem desde os modelos para a circulação geral da atmosfera até os modelos para o balanço hídrico e energético locais, passando pelos modelos para a dinâmica regional das massas de ar e para a caracterização e previsão dos tipos de tempo. Desde a década de 1960, ocorreu grande avanço no desenvolvimento de modelos de circulação da atmosfera, possibilitando sua aplicação a

inúmeras questões, tais como na simulação da circulação e dos padrões climáticos na época contemporânea, modelos de simulação paleoclimático, entre outros.

e) Modelos para processos dos fluxos hídricos: A gama e a diversidade de modelos descrevendo os fluxos hídricos nos sistemas são muito amplos, oscilando, desde a caracterização do ciclo hidrológico na escala global até os fluxos nas vertentes e nos solos. A modelagem do fluxo hídrico, desde a precipitação até o comportamento das águas subterrâneas, encontra exemplo no modelo ACRU. O modelo ACRU, de acordo com Christofletti (1999), é o sistema de modelagem integrado e multiobjectivo, determinístico e com bases físicas e conceituais. Assim, focaliza o balanço da água nos diversos horizontes estruturais do regolito e rochas subjacentes, em escala do tempo diário. Além de mencionar outputs ligados com os componentes do escoamento, irrigação, demanda, abastecimento, reservatórios e opções para a produção agrícola, também deve-se considerar a inter-relação aliada ao estado da água no solo e a evaporação total na escala diária.

f) Modelo econômico ambiental: Os problemas ambientais não podem ser considerados como fenômenos externos à sociedade, pois são ocasionados pelas atividades humanas e, em consequência, a procura em manter o bem-estar humano, qualidade ambiental e as funções dos ecossistemas integra-se com as tomadas de decisão em todos os níveis. Dessa maneira, verifica-se a necessidade de compreender a interação entre os sistemas ambientais e os sistemas socioeconômicos, observando-se o ritmo crescente nas pesquisas situadas na interface entre a ecologia e a economia. Um procedimento na modelagem ambiental consiste em identificar e combinar princípios da ecologia, economia e termodinâmica, na elaboração de modelos estruturados e aplicados na sociedade.

A partir do exposto, percebe-se que para uma compreensão mais profunda das várias feições que surgem nos processos de carstificação (exocarste e endocarste) a formulação teórica dos sistemas dinâmicos complexos ou não lineares é a que melhor explica a evolução desses modelados e suas inúmeras possibilidades de feições, e, como mudanças simples em qualquer etapa desse processo pode afetar diretamente ou indiretamente todo sistema.

2.5 Geometria Fractal e sua aplicação na descrição de morfologias derivadas de processos de carstificação

Muitas pessoas são fascinadas pelas belas imagens denominadas fractais. Estendendo-se além da típica percepção da matemática como um corpo de fórmulas complicadas e chatas,

a geometria fractal mistura arte com matemática para demonstrar que as equações são mais do que apenas uma coleção de números. O que torna os fractais ainda mais interessantes é que eles são as melhores descrições matemáticas existentes de muitas formas naturais, como litorais, montanhas ou partes de organismos vivos (Janos, 2008).

Embora a geometria fractal esteja ligada às técnicas computacionais, algumas pessoas trabalharam em fractais muito antes da invenção dos computadores. Essas pessoas eram cartógrafos britânicos, que encontraram o problema em medir a extensão da costa britânica. O litoral medido em um mapa de grande escala era aproximadamente metade do comprimento do litoral medido em um mapa detalhado. Quanto mais perto eles pareciam, mais detalhados e mais longos o litoral se tornava. Eles não perceberam que descobriram uma das principais propriedades dos fractais (MANDELBROT, 1998; JANOS, 2008; TURNER, et. al. 2001).

Christofletti (2014) afirma que, para analisar a questão relacionada com o conhecimento morfológico (estrutura) sobre a geometria e composição dos sistemas ambientais, encontra-se na geometria fractal como melhor técnica para representação desses sistemas. Capra (1996) declara que a geometria dos fractais associada com a Teoria do Caos tem contribuído com seus conceitos e técnicas para uma ampla faixa de fenômenos.

A palavra "fractal" muitas vezes tem conotações diferentes. O conceito matemático é difícil de definir formalmente, mesmo para os matemáticos, mas as principais características podem ser entendidas com pouca base matemática (ASSIS et. al. 2008).

O recurso de "autossimilaridade", por exemplo, é facilmente entendido por analogia ao zoom com uma lente ou outro dispositivo que amplia as imagens digitais para descobrir uma nova estrutura mais fina, anteriormente invisível. Se isso é feito em fractais, no entanto, nenhum novo detalhe aparece; nada muda e o mesmo padrão se repete repetidamente, ou para alguns fractais, quase o mesmo padrão reaparece repetidamente.

A história dos fractais traça um caminho de estudos principalmente teóricos para aplicações modernas em computação gráfica, com várias pessoas notáveis contribuindo formas fractal canônicas ao longo do caminho. De acordo com Mandelbrot (1998), a matemática por trás dos fractais começou a tomar forma no século XVII, quando o matemático e filósofo Gottfried Leibniz ponderou a autossimilaridade recursiva, embora ele tenha cometido o erro de pensar que apenas a linha reta era autossimilar.

Em seus escritos, Leibniz usou o termo "expoentes fracionários", mas lamentou que "Geometria" ainda não os conhecesse. De fato, de acordo com vários relatos históricos, após esse ponto, poucos matemáticos abordaram as questões, e o trabalho daqueles que

permaneceram obscurecidos em grande parte devido à resistência a conceitos emergentes desconhecidos, às vezes chamados de "monstros" matemáticos (ASSIS et. al. 2008).

Assim, foi apenas dois séculos depois que, em 1872, Karl Weierstrass apresentou na Academia Real de Ciências da Prússia, primeira definição de uma função com um gráfico que hoje seria considerado um fractal, tendo a não intuitiva propriedade de estar em toda parte contínua, mas em nenhum lugar diferenciável (ASSIS et. al. 2008).

Não muito tempo depois, em 1883, Georg Cantor, que assistiu a palestras de Weierstrass, publicou exemplos de subconjuntos da linha real conhecida como conjuntos Cantor, que tinham propriedades incomuns e agora são reconhecidos como fractais. Também na última parte desse século, Felix Klein e Henri Poincaré introduziram uma categoria de fractal que passou a ser chamada de fractais "auto inversos" (figura 2.6).

Figura 2.6 – Conjuntos Cantor³

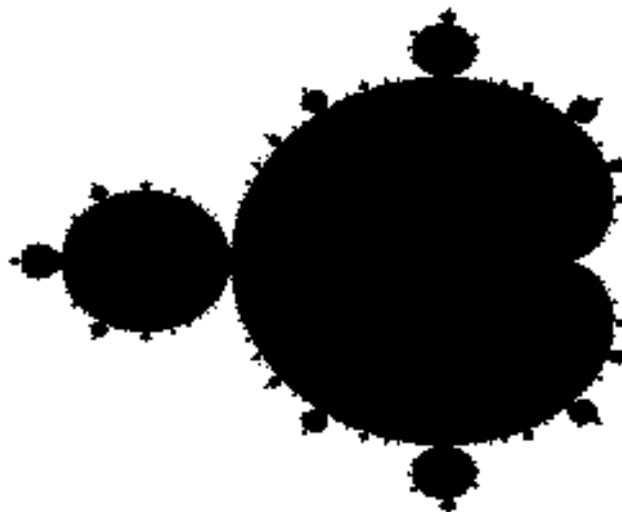
e superfícies, constituídos por partes semelhantes ao Todo descrita uma nova curva fractal, a curva de Lévy C (ASSIS et. al. 2008).

Diferentes pesquisadores postularam que, sem a ajuda da computação gráfica moderna, os primeiros investigadores limitavam-se ao que podiam descrever em desenhos manuais, por isso careciam de meios para visualizar a beleza e apreciar algumas das implicações de muitos dos padrões que haviam descoberto.

Isso mudou, no entanto, na década de 1960, quando Benoit Mandelbrot começou a escrever sobre autossimilaridade em artigos como “*How Long Is the Coast of Britain*”, “Auto-Similaridade Estatística” e “Dimensão Fracionária”, que se baseou em trabalhos anteriores de Lewis Fry Richardson. Em 1975 Mandelbrot solidificou centenas de anos de pensamento e desenvolvimento matemático ao cunhar a palavra "fractal" e ilustrou sua definição matemática com impressionantes visualizações construídas por computador (JANOS, 2008).

Essas imagens, como as de seu conjunto canônico de Mandelbrot, capturaram a imaginação popular; muitos deles foram baseados em recursão, levando ao significado popular do termo "fractal" (figura 2.7).

Figura 2.7 - Conjunto canônico de Mandelbrot.



Fonte: Falconer, 1990.

Os fractais podem ser agrupados em três categorias principais. Estas categorias são determinadas pelo modo como o fractal é formado ou gerado:

- Sistema de funções iteradas, que possuem uma regra fixa de substituição geométrica. Conjunto de Cantor, tapete de Sierpinski, são alguns exemplos deste tipo de fractal;

- Fractais definidos por uma relação de recorrência em cada ponto do espaço (tal como o plano complexo). Exemplos deste tipo são o conjunto de Mandelbrot e o fractal de Lyapunov. Estes também são chamados de fractais de fuga do tempo;
- Fractais aleatórios, gerados por processos estocásticos ao invés de determinísticos, por exemplo, terrenos fractais e o vôo de Lévy.

Também, segundo Janos (2008) podem ser classificados de acordo com seus autossimilaridade. Existem três tipos de autossimilaridade encontrados em fractais:

- **Autossimilaridade exata:** é a forma em que a autos similaridade é mais marcante, evidente. O fractal é idêntico em diferentes escalas. Fractais gerados por sistemas de funções iterativas geralmente apresentam autos similaridade exata.
- **Quase-autossimilaridade:** é uma forma mais solta de autos similaridade. O fractal aparenta ser aproximadamente (mas não exatamente) idêntico em escalas diferentes. Fractais quase-autossimilares contém pequenas cópias do fractal inteiro de maneira distorcida ou degenerada. Fractais definidos por relações de recorrência são geralmente quase-autos similares, mas não exatamente autos similares.
- **Autossimilaridade estatística:** é a forma menos evidente de autos similaridade. O fractal possui medidas numéricas ou estatísticas que são preservadas em diferentes escalas. As definições de fractais geralmente implicam alguma forma de autos similaridade estatística (mesmo a dimensão fractal é uma medida numérica preservada em diferentes escalas). Fractais aleatórios são exemplos de fractais que possuem autos similaridade estatística, mas não são exatamente nem quase autos similares.

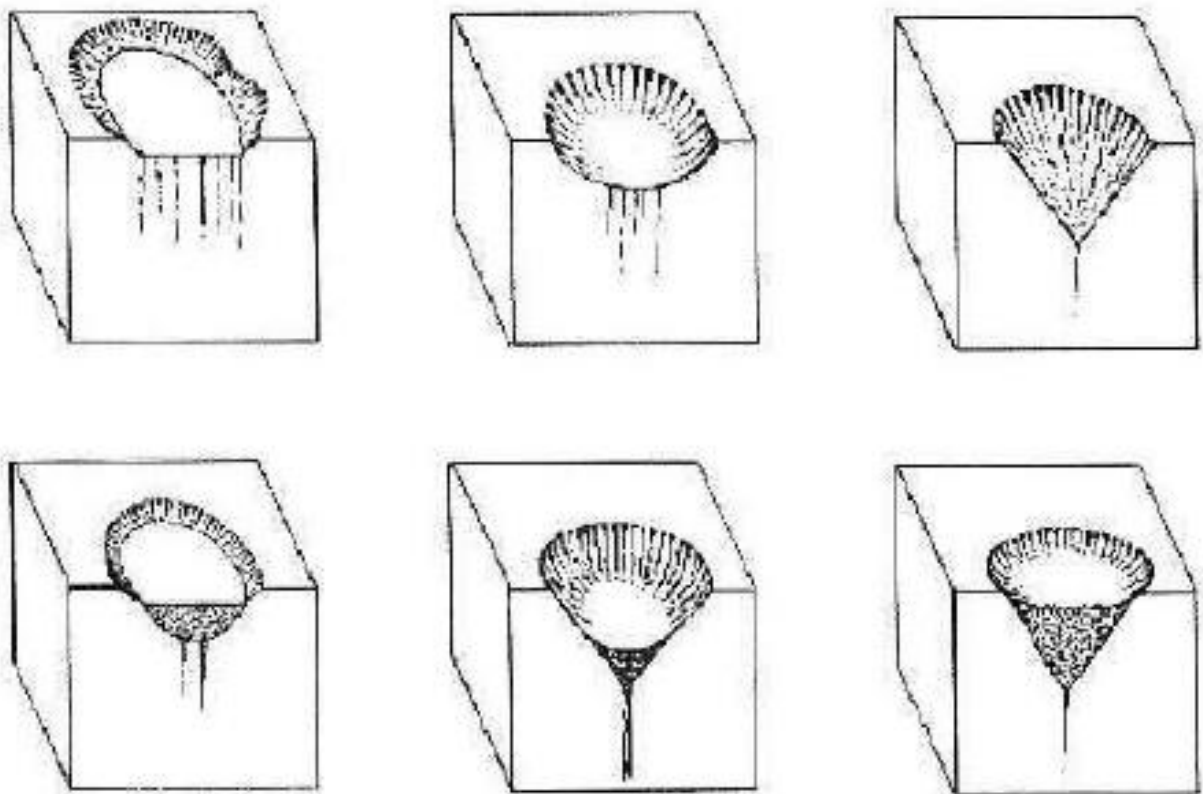
Os fractais aproximados encontrados na natureza exibem autossimilaridade em faixas de escala estendidas, porém finitas. A maior parte dos elementos da natureza não podem ser explicados ou representados por figuras geométricas euclidianas, já que suas morfologias não são traços perfeitos ou mesmo, com raras exceções possuem dimensões simétricas. Mediante a isso, a geometria fractal surge como uma nova ferramenta para a descrição das formas que a natureza possui (JANOS, 2000).

Dois trabalhos no Brasil, relacionaram a geometria fractal as feições cársticas. O Primeiro em 1997, publicado na revista “Sociedade Excursionista Espeleológica – SEE” intitulado “*Espeleotemas: Crescimentos Fractais*” do autor Claudio Maurício T. da Silva, onde é abordado sobre o processo de deposição e formação de vários tipos de espeleotemas, com suas formas “desordenadas” ao consolidar-se; e o trabalho de Roberto Marques Neto publicado em 2008 com o título “*Evolução de caverna em quartzito e processos cársticos em São Thomé das Letras-MG: contribuição ao estudo de sistemas cársticos em rochas silicáticas*”,

evidenciando a relação das feições desenvolvidas em carste não-tradicional com formas fractais.

Nem todas as feições desenvolvidas no carste, podem ser descritas usando figuras euclidianas, como por exemplo as formas das dolinas, uvalas, vales cársticos, lapiás, que facilmente podem ser representadas por figuras geométricas como círculos, elipse, cone, linha, entre outros (figura 2.8). Em muitos casos essas mesmas feições, não cabem no modelo geométrico clássico ao serem representadas.

Figura 2.8 – Dolinas são descritas usando a geometria tradicional (Euclidiana)



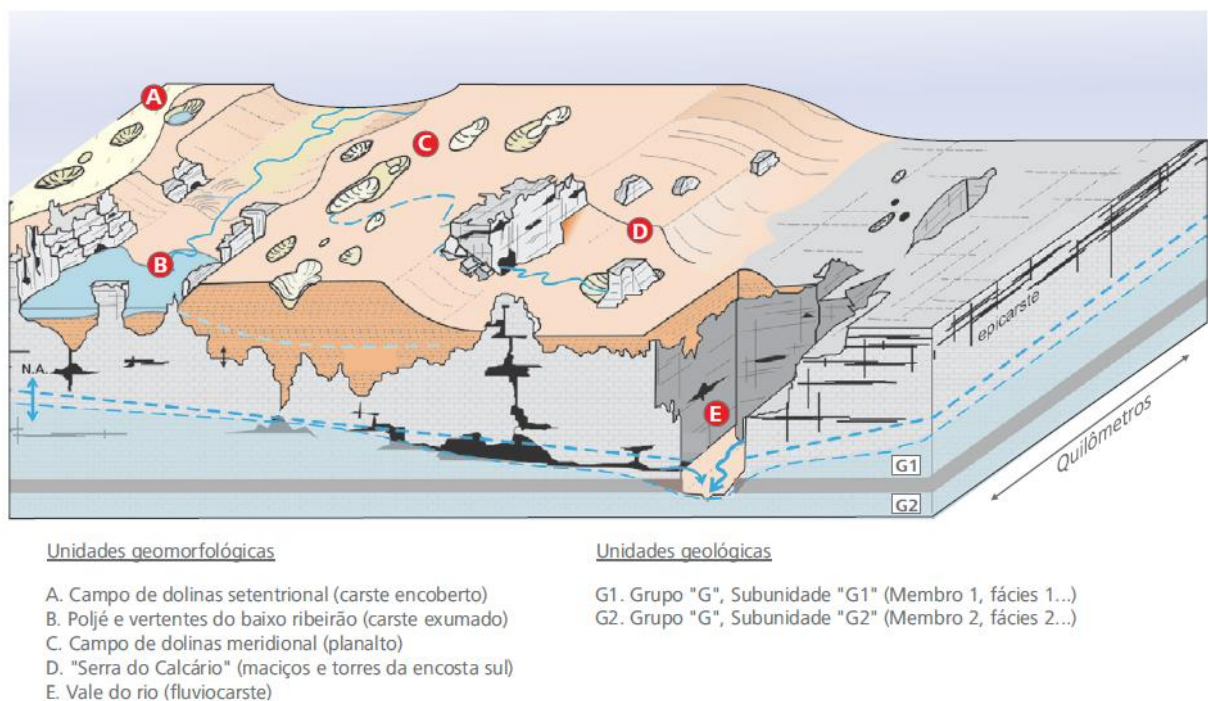
Fonte: Sociedade Espeleológica Italiana, 2008.

Isso ocorre, porque a natureza não segue uma regra ou modelos padrões para o desenvolvimento de suas formas e sua morfologia é condicionada por fatores diversos, abióticos e bióticos. Nem sempre as condições que formam uma determinada paisagem vão se repetir, e consequentemente a forma final desse elemento também não será a mesma. As feições cársticas seguem essa tendência. A morfologia das feições derivadas do processo de carstificação estão atreladas a como determinada variável (litologia, tectônica, clima, gradiente do relevo, plano de estratificação da rocha, ação da água, entre outros) vai atuar.

O desenvolvimento de carste ocorre sempre que a água ácida começa a percolar a superfície da terra, nas áreas de fraturas ou planos de estratificação. Se este sistema de drenagem subterrânea se forma, acarreta o aceleração do processo de dissolução da rocha, permitindo, o desenvolvimento de feições cársticas.

A carstificação de uma paisagem, pode resultar numa variedade de formas de larga-escala ou pequena, tanto na superfície como em sub-superfície. Em superfície pode-se encontrar pequenas características que incluem caneluras, chamadas de lapiás; também encontramos as dolinas, depressões que se desenvolvem, principalmente por dissolução ou abatimento; os sumidouros ou cenotes (bacias fechadas); abismos; ressurgências, riachos e nascentes desaparecendo, reaparecendo; extensos vales, denominados de poljés e vales cársticos; assim como, feições resíduas denominadas de cones, torres, mogotes, humes, entre outras (figura 2.9).

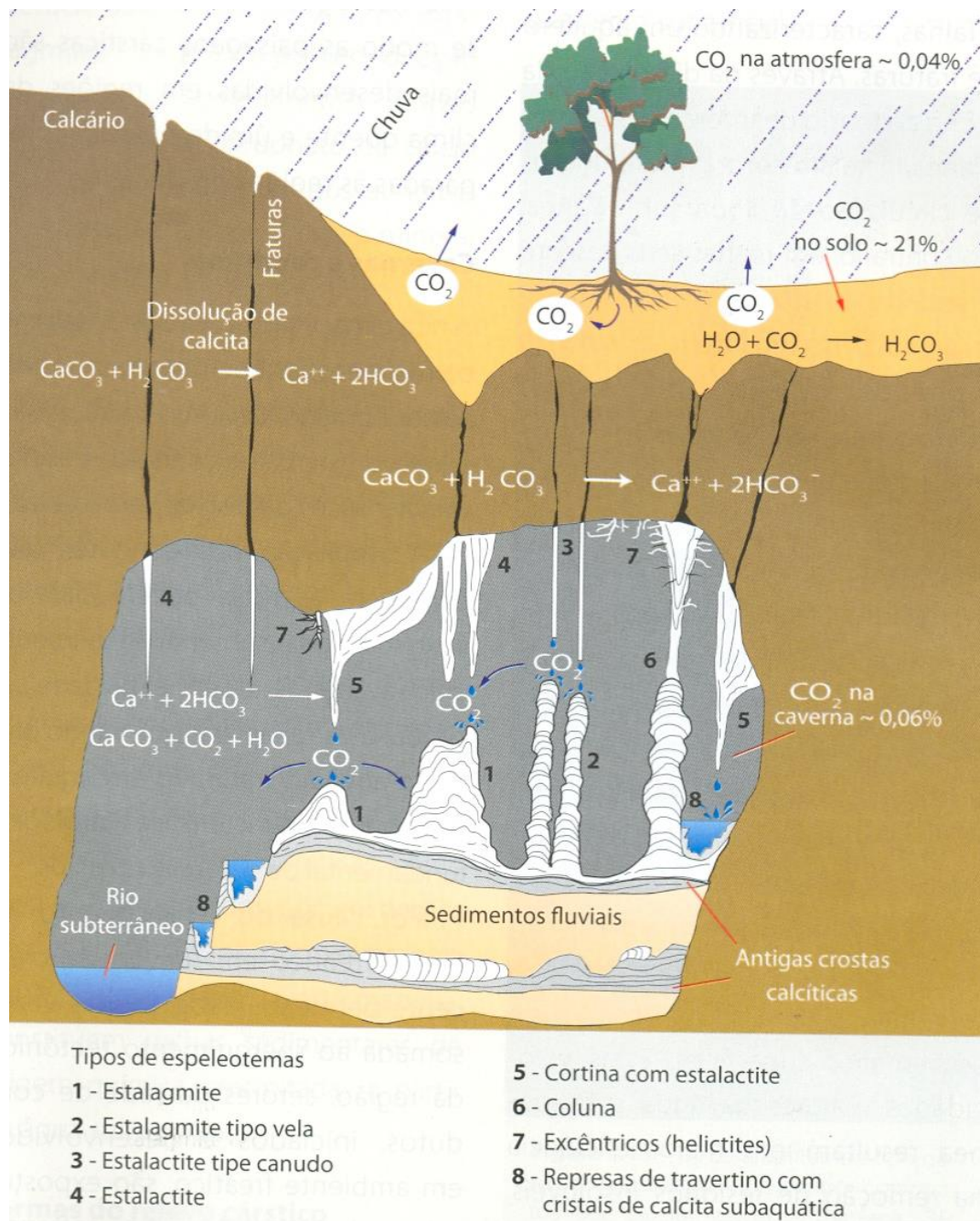
Figura 2.9 – Formas superficiais do exocarste.



Fonte: Sánchez *et al.*, 2016.

Abaixo da superfície, a partir de um sistema de drenagem subterrâneo complexos (como os aquíferos cársticos), e o processo de percolação, podem se formar extensos sistemas de cavernas, na qual desenvolve-se as feições mais fractais do carste, os espeleotemas. Os espeleotemas são formados pela deposição de carbonato de cálcio e outros minerais dissolvidos (figura 2.10).

Figura 2.10 - Feições do Endocarste.



Fonte: Teixeira *et al.*, 2000

Podemos encontrar no interior das cavernas feições fractais de dois tipos: fractais aleatórios, gerados por processos estocásticos ao invés de determinísticos e, os fractais do tipo “Quase autossimilaridade”, cuja forma aparenta ser aproximadamente (mas não exatamente) idêntico em escalas diferentes

As feições fractais aleatórias são mais comuns no processo de cartificação, como é o caso de helictites, estalactites e estalagmites que se desenvolvem de forma aleatória, pois seus

processos morfogenéticos dependem de fatores internos e externos, condicionando sua taxa de desenvolvimento e crescimento.

As helectites crescem mudando seu eixo da vertical em um ou mais estágios durante o seu crescimento (figura 2.11). Os helictites têm uma forma curva ou angular que parece ter crescido em gravidade zero. Eles são provavelmente o resultado de forças capilares atuando em minúsculas gotículas de água, uma força muitas vezes forte o suficiente nessa escala para desafiar a gravidade.

Os helictites são, na maioria dos casos, as mais delicadas formações de cavernas. Eles geralmente são feitos de calcita e aragonita em forma de agulha. Foram descritos vários tipos de helictites, tais como, de fita, serras, bastões, borboletas, "mãos", batatas fritas e "aglomerados de vermes".

Figura 2.11 – Helectites na Gruta da Fumaça. Iraquara, Bahia.



Crédito: Heleno dos Santos Macedo, 2016.

Mas, podemos encontrar esses mesmos espeleotemas fractais de “*quase autossimilaridade*” em paisagens cársticas. Por exemplo, no processo de carstificação o material à medida que vai sendo depositado tende a seguir as condições que o ambiente o propicia naquele momento. A medida que o processo de diagênese vai ocorrendo na primeira camada de material depositado, uma nova sequência deposicional vai cobrindo a feição já existente.

Se as condições que ocorrem esse segundo depósito é semelhante, na maioria dos aspectos, as condições da primeira deposição/diagênese a feição tende a possuir o mesmo formato em escalas diferentes (figura 2.12 e 2.13). Situações de quase autossimilaridade são comuns em estalactites, cortinas, estalagmites, condutos derivados de processos de corrosão, entre outras feições.

Figura 2.12 - “*quase autossimilaridade*” em estalagmite na Gruta da Fumaça. Iraquara, Bahia.



Crédito: Heleno dos Santos Macedo, 2016.

Figura 2.13 - “*quase autossimilaridade*” em conduto na Caverna da Torrinha. Iraquara, Bahia.



Crédito: Heleno dos Santos Macedo, 2016.

O sistema cárstico é diverso, e à medida que novos estudos vão sendo realizado em âmbitos diferentes desse sistema, novas descobertas e maneiras de pensar o carste acabam elucidando o seu funcionamento. Pensar o carste a partir dos sistemas dinâmicos não lineares e da geometria fractal, permite vislumbrar a complexidade para a formação das feições do exocarste e endocarste.

E entender o grau de complexidade do sistema cárstico (que envolve a morfogênese, morfoescultura e morfodinâmica), permite compreender a relevância para a manutenção do mesmo, que é vital para vários ecossistemas, inclusive o humano.

2.6 A Ecodinâmica/Ecogeografia como modelo integrador para definição e caracterização de unidades de paisagem

A abordagem integrada surge como um novo modo de ver e identificar as causas e efeitos da relação natureza e sociedade. A classificação da paisagem é uma das expressões que surge com essa ideia integradora, que, a abordagem sistêmica traz para as Ciências da Terra. Trata-se de olhar homogêneo sobre cada *pedaço* de terra, a depender da escala em questão. Ele fornece uma base para o estudo topológico, bem como as relações cronológicas da paisagem.

A definição de unidades de paisagem pode ser obtida a partir de características e atributos identificáveis na paisagem, tais como, o relevo, os solos, a vegetação, as redes hidrográficas, as alterações humanas, entre outras.

Entre as propostas de classificação de unidades de paisagem, em 1977, foi publicada pelo IBGE uma obra, escrita pelo renomado geógrafo francês Jean Tricart (1920-2003), denominada de *Ecodinâmica*. O termo *Ecodinâmica* surge a partir do termo *ecótopo*, este corresponde a um ambiente ecológico de certo ser vivo (determinado por seus fatores físicos e químicos) ou a um tipo específico de habitat dentro de determinada área geográfica. Tricart (1977), afirma que essa relação entre homem e natureza é tão antiga quanto a existência do gênero humano sobre terra e a ideia de integração ou dependência dos elementos naturais era intrínseco à existência humana. Ele ressalta que,

[...] em seu estágio de cultura a mais primitiva, já dependia o ser humano da ocorrência natural de meio de subsistência, obtidos, quando necessário, com o auxílio do instrumento rústico que era capaz de produzir. Isso, até o momento em que, mais sedentário, passou a cultivar a terra, melhorando seu suprimento e aumentando a possibilidade de atender às necessidades da coletividade crescente. (TRICART, 1977, p. 9).

Essa afirmação de Tricart, aponta dois pontos comuns que refletem períodos distintos do processo “civilizatório”, mas que corroboraram na transformação atual da paisagem. O primeiro ponto, evidencia que o homem sempre dependeu dos elementos disponibilizados pela natureza, bem como sua extração para a manutenção de suas atividades deveria ocorrer naturalmente. Porém, apenas o que era necessário era retirado, não havendo impacto significativo sobre o meio. No segundo ponto, a medida que as necessidades humanas passaram a acompanhar as mudanças nos modos de produção, o homem vai iniciar um novo tratamento com a paisagem, transformando-a. Assim, não se preocupando mais, indiretamente, com o equilíbrio que mantinha com ela e com práticas de acúmulo, as quais causariam uma retirada além daquilo que seria consumido.

É evidente que à medida que o desenvolvimento das técnicas ganhava força, a necessidade de acelerar os processos de retirada de elementos naturais passava a configurar-se como processo dominante. No intuito de garantir a sobrevivência dos aglomerados urbanos que se formavam, principalmente, com o estopim do novo modelo de organização socioeconômica que surge com a Revolução Industrial e perpetua até os dias de hoje. Esse crescimento e essa brecha criada na relação oferta-demanda, acaba comprometendo a manutenção dos ecossistemas espalhados pelas porções continentais e marítimas em todo o planeta.

Do século XIX aos anos iniciais do século XXI, o uso e ocupação da terra passou a revigorar não apenas como meio de obtenção de alimentação, mas, como ferramenta para a ampliação de lucros e a manutenção de oligarquias construídas às custas do trabalho escravo e exploratório. A ação do homem como elemento de transformação não passa despercebido sobre a paisagem. Suas marcas são deixadas ao longo de séculos de exploração, destruição, poluição, contaminação, entre outros fatores que marcam essa “nova ordem” ambiental. Corroborando com o exposto acima, Tricart (1977) sustenta a ideia que

[...] desde a lenta aparição do homem como espécie animal, os ecossistemas foram por ele modificados, assim como ele foi influenciado em seu desenvolvimento físico, e até intelectual, pelo meio ambiente, ou seja, pelos demais componentes do ecossistema do qual participa. (TRICART, 1997, p. 17).

Nesse processo embrionário de discussão da ação do homem como um agente de transformação da natureza, surge o conceito de Ecossistemas proposto pelo inglês Tansley (1934). Este, afirmava que os ecossistemas seriam um conjunto de seres vivos mutuamente dependentes uns dos outros e do meio ambiente em que vivem. Esse conceito de ecossistemas foi fundamentado a partir de discussões propostas por físicos, subsidiando o uso da termodinâmica. (TRICART, 1997).

A partir dessa implementação, a ideia de sistema como ferramenta para análise das questões ambientais, passa a ganhar força na academia. Pois, poder-se-ia compreender, a começar dessa abordagem, “as partes separadas” e seus papéis e funções no contexto geral. Tricart (1977), afirmava que o conceito de sistema seria o melhor instrumento lógico para estudar os problemas do meio ambiente. Segundo o autor,

[...] ele permite adotar uma atitude dialética entre a necessidade da análise – que resulta do próprio progresso da ciência e das técnicas de investigação – e a necessidade, contrária de uma visão de conjunto, capaz de ensejar uma atuação eficaz sobre esse meio ambiente. Ainda o conceito de sistemas é por natureza, de caráter dinâmico e por isso adequado a fornecer os conhecimentos básicos para uma atuação – o que não é o caso de um inventário, por natureza estática (TRICART, 1997, p. 17).

No momento que o conceito de sistema passa a ser adotado pela ecologia, com o surgimento do termo ecossistema, há, então, espaço para que a integração de conhecimentos isolados e dispersos sejam reunidos e olhados como uma única contribuição. A adoção do conceito ecológico, usando-se o instrumental dos sistemas, permite estudar as relações entre os

diversos componentes do meio ambiente. Assim, pode-se reequilibrar dialeticamente o pensamento científico viciado pelo excesso unilateral da análise. (TRICART, 1977).

Para haver o reequilíbrio, Tricart (1977) afirma que se faz necessário entender a importância da dinâmica do meio ambiente, pois esse é importante para a conservação e o desenvolvimento dos recursos ecológicos quanto à dinâmica das próprias biocenoses. Ambos os aspectos da dinâmica dos ecossistemas são estreitamente relacionados entre si. Uma unidade Ecodinâmica caracteriza-se por certa dinâmica do meio ambiente que tem repercussões mais ou menos imperativas sobre biocenoses. (Op. Cit.).

Percebe-se que o conceito de unidades ecodinâmicas é integrado ao conceito de ecossistema. Fundamenta-se em um instrumento lógico da abordagem sistêmica e enfoca as relações mútuas entre os diversos componentes da dinâmica e os fluxos de energia/matéria no meio ambiente e seus recursos ecológicos.

Diante de tal fato, a gestão dos recursos naturais deve ter por objetivo a avaliação dos impactos, os quais as atividades humanas causam nos ecossistemas. Isso significa que é necessário determinar a percentual aceitável de extração de recursos, sem que haja degradação irreversível no ecossistema ou mesmo, determinar quais medidas que devem ser tomadas para permitir a extração em maior escala, sem provocar colapsos no sistema. Para Tricart (1977), esse tipo de avaliação exige bom conhecimento do funcionamento do ecossistema, ou seja, dos fluxos de energia/matéria que o caracteriza.

Nessa situação, é necessário a utilização de um instrumento lógico dos sistemas que permita identificar, rapidamente, quais serão as modificações diretas e indiretas desencadeadas por uma intervenção que afeta qualquer elemento de um ecossistema. Tricart (1977), alega que na maioria das vezes, as intervenções afetam a cobertura vegetal, visto que isso repercute sobre:

- a energia da radiação que alcança o solo e, por sua vez, as temperaturas do solo, com efeitos sobre a respectiva flora e fauna, a mineralização dos húmus, a nitrificação, entre outros;
- a queda de detritos vegetais na superfície do solo e, em consequência, a nutrição dos organismos redutores, a estrutura do solo e sua resistência à erosão pluvial e, por conseguinte, o regime hídrico, bem como a reciclagem dos elementos minerais pelas plantas;
- a interceptação das precipitações ou seu tempo de concentração e a energia de impacto das gotas, que determinam a possibilidade de erosão pluvial. Novamente chegamos assim ao regime hídrico;
- a proteção do solo contra as ações eólicas, capazes de intensa degradação das terras.

Diante dessa compreensão, Tricart (1977) estabelece uma classificação para as unidades de paisagens identificadas, denominando-as *Unidades Ecodinâmicas* ou *Unidades Morfodinâmicas*. Essa proposta de classificação é reforçada pelo autor, alegando que

[...] a ação humana é exercida em uma natureza mutante, que evolui segundo leis próprias, das quais percebemos, de mais a mais, a complexidade [...] estudar a organização do espaço é determinar como uma ação se insere na dinâmica natural, para corrigir certos aspectos desfavoráveis e para facilitar a exploração dos recursos ecológicos que o meio oferece. (TRICART, 1977, p. 35).

Foram classificadas, então, as unidades ecodinâmicas, em três categorias: meios estáveis, meios intergrades e meios fortemente instáveis.

a) Meios estáveis:

A noção de estabilidade aplica-se ao modelado, na interface entre a atmosfera-litosfera. Os meios morfodinâmicos estáveis encontram-se em regiões dotadas das seguintes condições:

- Cobertura vegetal suficientemente fechada, para opor um freio eficaz ao desencadeamento dos processos mecânicos da morfogênese;
- Ocorre dissecação moderada, sem incisão violenta dos cursos d'água, sem ação vigorosa dos rios e vertentes de lenta evolução;
- Ausência de manifestações vulcânicas suscetíveis de desencadear paroxismos morfodinâmicos, de aspectos mais ou menos catastróficos.

Para os meios estáveis, Tricart (1977) afirma que, no local em que a vegetação é capaz de fornecer detritos, tem lugar a pedogênese. A fraqueza das ações mecânicas limita a um mínimo a interferência pedogênese-morfogênese. Sob esse ponto de vista, pode-se dizer que a pedogênese exerce-se livremente, sem ser afetada pelas sujeições da morfogênese. Para as diversas variedades de meios estáveis, o princípio da conservação deve ser o de manter uma cobertura vegetal densa, com efeitos equivalentes àqueles da cobertura vegetal natural. É uma aplicação do conceito de bioestasia de H. Erhart⁴ (figura 2.14).

⁴ Para se compreender melhor as relações morfodinâmicas utiliza-se do conceito “bio-resistásico” proposto por H. Erhart (1956), que consiste em estágios morfopedogênicos diferenciados, associados a condições climáticas distintas. Na biostasia a atividade geomorfogenética é fraca ou nula, existindo um equilíbrio climático entre potencial ecológico e exploração biológica. O domínio da pedogênese sobre a morfogênese gera um balanço morfogenético negativo. A resistasia é identificada pela retirada dos elementos que na biostasia integravam a fase residual. Assim, na resistasia, a morfogênese domina a dinâmica da paisagem, com repercussão no potencial geológico (desequilíbrio climático) – (CASSETI, 2005)

Figura 2.14 – Floresta Amazônica. A cobertura vegetal garante o predomínio da pedogênese.



Fonte: <http://tvbrasil.ebc.com.br/tags/floresta-amazonica>

b) Meio intergrades:

Essa unidade Ecodinâmica corresponde às unidades e transição, ou seja, de passagem gradual entre os meios estáveis e os instáveis. Assim, o que caracteriza tal situação, é o balanço entre as interferências morfogenéticas e pedogenéticas. O termo intergrades foi tomado do vocabulário dos geólogos para designar uma transição. Estes meios, com efeito, asseguram a passagem gradual entre os meios estáveis e os meios instáveis (figura 2.15).

Figura 2.15 – Semiárido nordestino. Típica situação entre a morfogênese-pedogênese.



Fonte: <http://www.ibama.gov.br>

c) Meios fortemente instáveis:

Nesses meios, a morfogênese é o elemento, predominantemente, da dinâmica natural e fator determinante do sistema natural, ao qual outros elementos estão subordinados.

Uma atual situação pode ter diferentes origens, suscetíveis de combinarem-se entre elas. A geodinâmica interna intervém em numerosos casos, em particular no vulcanismo, cujos efeitos são mais imediatos do que os das deformações tectônicas. As deformações tectônicas comandam todos os processos nos quais intervém a gravidade, favorecendo a dissecação das áreas elevadas, com incisão dos cursos d'água e crescimento correlato dos declives das encostas.

A cobertura vegetal intervém, também, introduzindo uma influência indireta do clima, sendo a maior instabilidade realizada nas regiões de forte instabilidade climática. Com efeito, parte da vegetação adapta-se às irregularidades climáticas e as influências bioestáticas são reduzidas ao mínimo. Por outro lado, as manifestações meteorológicas extremas que caracterizam tais climas, oferecem um potencial energético considerável, cujo rendimento é elevado.

A degradação antrópica se acrescenta às causas naturais, particularmente eficazes nas regiões acidentadas, nas quais o clima opõe fatores limitantes severos à vegetação. Essas condições ecológicas difíceis, tornam a degradação mais fácil, impedindo a reconstituição da vegetação quando lhe é dado um prazo. No caso de degradação antrópica, a busca da ativação morfodinâmica acaba por destruir rapidamente os solos preexistentes. Estamos em presença de caso típico de resistásia, segundo H. Erhart (Figura 2.16).

Figura 2.16 – Bacia Paraíba-do-sul. A morfogênese como elemento predominante.



Fonte: <http://educacaopublica.cederj.edu.br/revista/artigos/sudeste-rumo-a-desertificacao-rio-paraiba-do-sul>

No tratamento da informação da Ecodinâmica de Tricart (1977), o solo aparece como o referencial de análise temporal da paisagem, levando em consideração a relação pedogênese/morfogênese para as condições de estabilidade. A análise morfodinâmica do referido autor, baseia-se no estudo do sistema morfogenético (em função das condições climáticas), no estudo dos processos atuais (caracterizando os tipos, a densidade e a distribuição) e nas influências antrópicas, com os graus de degradação decorrentes.

Em 1992, Tricart publicou, em parceria com Conrad Kiewietdejonge, a obra *Ecogeography and Rural Management: A Contribution to the International Geosphere-Biosphere Program*. Nesta, os autores ampliam o entendimento da relação sociedade-natureza, ao desenvolver o conceito de Ecogeografia. Tricart e Kiewietdejonge (1992), definem que é possível distinguir três âmbitos de organização do nosso ambiente:

- a organização da matéria - caracterizada pelo arranjo das partículas que as compõem (estado físico da matéria);
- a organização da vida - envolve uma disposição para reprodução acompanhada por uma tendência de crescimento e organização de um conjunto de formas, o reverso de coisas materiais (seres vivos);
- a organização social - baseada na criação de formas de organização social e econômica, a partir de uma base cultural.

Cada um desses níveis caracteriza-se por estruturas suportadas pelas forças específicas e pressupõe certa harmonia funcional, baseada na interdependência que se estabelece entre elementos da natureza, elementos da sociedade e entre a sociedade e a natureza. Os seres humanos são parte da natureza e, diante disso, não se pode pensar em paisagens que não tenham sido afetadas pelo homem. A humanidade, como seres animais, são incapazes de absorver energia solar para prover suas necessidades ou de absorver diretamente os nutrientes minerais dos solos para repor suas necessidades, precisando, assim, dos produtores primários para a manutenção de sua sobrevivência. (ROSS, 2006).

Para Tricart (1977), todas as formas de organização social dependem da vida e a Ecogeografia é um ponto de vista pelo qual se reconhece isso. Ela estuda como os humanos são integrados nos ecossistemas e como essa integração é diversificada em função do espaço terrestre. Tal integração engloba dois importantes aspectos, segundo Tricart e Kiewietdejonge (1992):

1. As demandas impostas pelos humanos nos ecossistemas dos quais eles participam, bem como no ambiente físico;

2. As modificações humanas impostas voluntariamente, ou não, no ecossistema, incluindo o ambiente físico – criação de ecossistemas e poluições de todos os tipos.

O aporte tecnológico e apropriação dos recursos naturais que os humanos vêm submetendo nas paisagens, em todo o planeta, acabam modificando os ecossistemas, tornando-se, assim, um agente importante da Ecodinâmica. Os efeitos adversos impostos pelo homem sobre os ecossistemas, geralmente, resultam em mudanças na Ecodinâmica da paisagem. Pois, estas são influenciadas, também, pelas estruturas sociais e econômicas que, por serem diferenciadas, provocam transformações desiguais no espaço geográfico.

Observando essa concepção de paisagem, em constante estado de mudança, Ross (2009) corrobora com a ideia, afirmando que o ambiente é caracterizado pela dinâmica de certo número de elementos de interações e esses mecanismos precisam ser entendidos para que se possa fazer um melhor uso do ambiente. As modificações na dinâmica dos ecossistemas interferem nas intensidades dos fluxos de energia e matéria no processo de relação com componentes, afetando as interações e o desenvolvimento do ecossistema.

Segundo Tricart e Kiewietdejonge (1992), a visão descritiva e estática do ambiente é insuficiente para compreender as mudanças impostas pelos seres humanos sobre o ambiente. Sendo necessário entender, a princípio, como funciona as interações e relações dos fluxos de energia e matéria entre os componentes da natureza, incluindo as ações das sociedades humanas.

Sendo assim, é fundamental a compreensão da dinâmica do passado e do presente de cada um dos ambientes que compõem a superfície do planeta. Dessa forma, parte de suas formas/fisionomias, que são facilmente perceptivas até as estruturas e suas funcionalidades que, por sua natureza, são mais complexas no seu processo de identificação e, a partir disso, entender o grau de suscetibilidades que tais ambientes possuem diante das intervenções feitas pelos seres humanos. Tricart e Kiewietdejonge (1992), destacam que as sociedades humanas atuam como agentes modificadores das paisagens, dos ambientes naturais ou sistemas ambientais naturais.

Diante disso, a Ecogeografia pode ser compreendida como uma abordagem metodológica, propícia para fornecer suporte ao planejamento ambiental ou, ainda, para viabilizar propostas de zoneamento ou ordenamento. Já que está pode fornecer um conhecimento da sociedade e sua dinâmica, ou seja, suas demandas econômicas, sociais, culturais, políticas, o que possibilita o estabelecimento de diretrizes gerais e específicas, independente das características da paisagem.

Para isso, é preciso entender a dinâmica dos sistemas ambientais naturais-humanos de maneira integrada, para que todas as inserções tecnológicas aplicadas pelas sociedades

humanas, sejam menos prejudiciais à natureza e mais favoráveis ou produtivas aos seres humanos. Com isso, o uso da Ecodinâmica/Ecogeografia auxilia na compreensão e classificação das unidades de paisagem, possibilitando a formação de uma percepção socioeconômica, com viés a suscetibilidades da natureza em função dos riscos potenciais e da degradação ambiental.



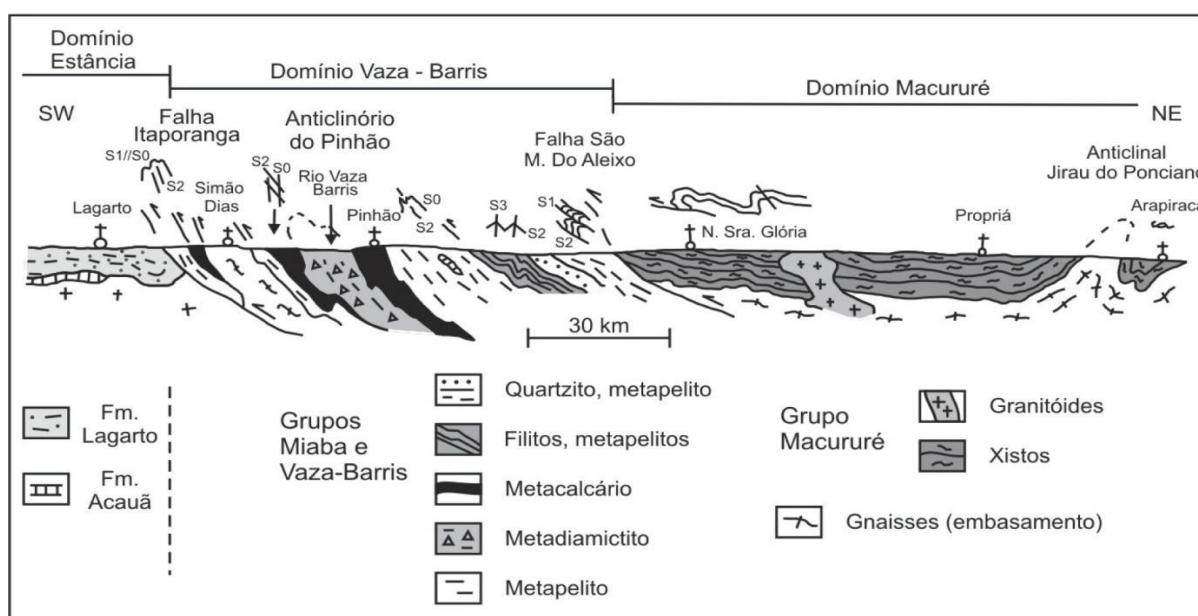
03. SISTEMA AMBIENTAL FÍSICO DO CARSTE SERGIPANO

3.1. Domínio Vaza-Barris: caracterização, estratigrafia e sistemas deposicionais dos Grupos Miaba, Simão Dias e Vaza-Barris

O Domínio Vaza-Barris localiza-se na parte central do estado de Sergipe, prolongando-se para oeste, além do limite estadual, e, para leste, até a Bacia de Sergipe (figura 3.2). Limita-se com o domínio anterior através da Falha do Rio Jacaré, uma zona de cisalhamento rúptil-dúctil contracional de alto ângulo. Esta descontinuidade estrutural sofreu várias reativações desde a formação da bacia, até pelo menos o Mesozóico, pois seu prolongamento sudeste (Falha de Itaporanga) limita parcialmente a Bacia de Sergipe.

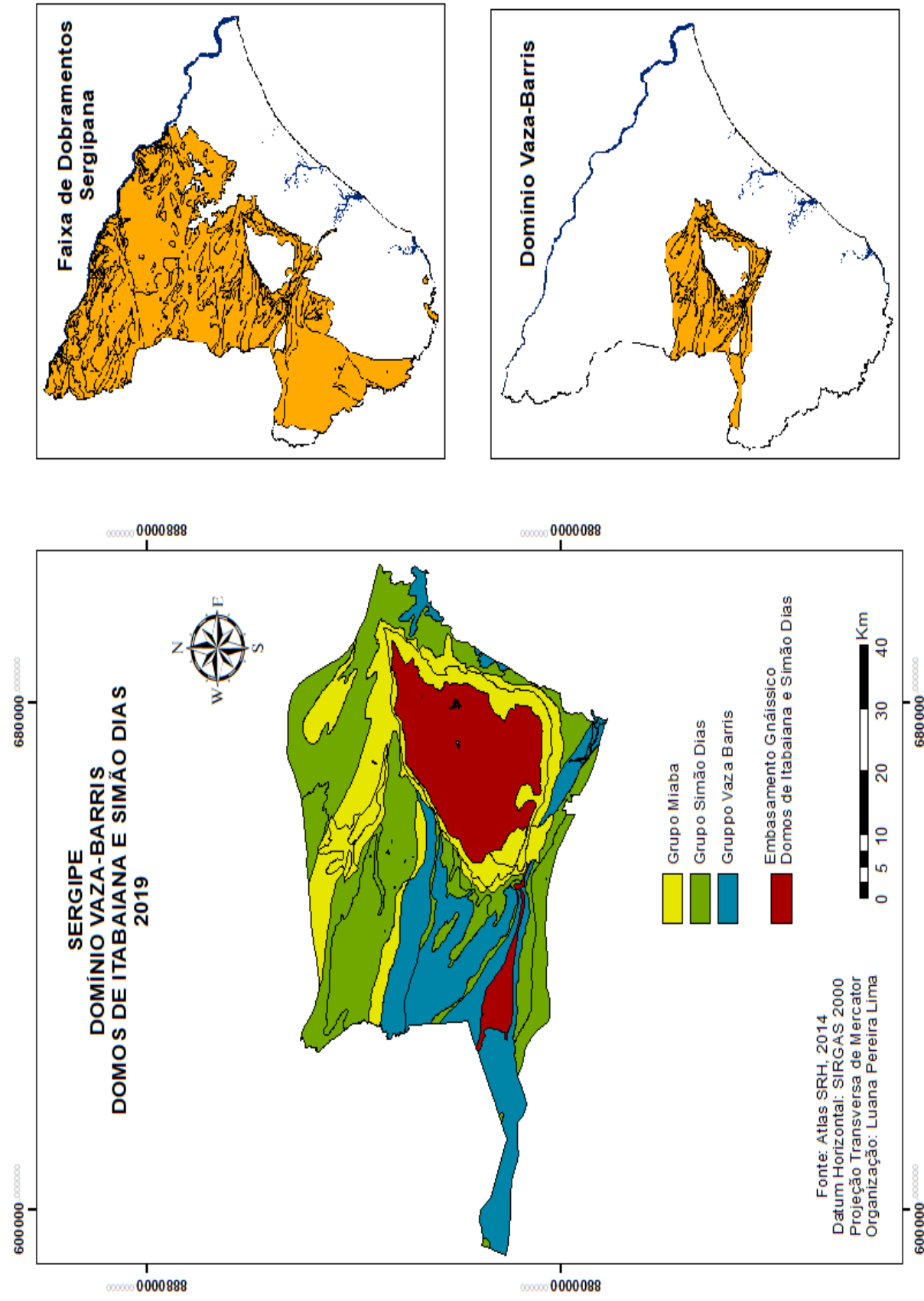
Compõe-se de metassedimentos psamo-pelito-carbonáticos de baixo grau metamórfico dos grupos Miaba, Simão Dias e Vaza-Barris, de acordo com a estratigrafia proposta por D'el Rey Silva (1992, 1995). Esta estratigrafia foi estabelecida a partir dos trabalhos pioneiros de Humphrey & Allard (1967, 1969), que introduziram na região o modelo geossinclinal, gradativamente refinado por trabalhos subsequentes (Brito Neves & Cordani, 1973; Brito Neves *et al.*, 1977; Silva Filho *et al.*, 1978, 1979, 1981; Jardim de Sá *et al.*, 1981; Jardim de Sá, 1986; entre outros) – figura 3.1.

Figura 3.1 - Seção estrutural da porção centro-sul da Faixa Sergipana



Fonte: Uhlein *et al.* 2011.

Figura 3.2 – Domínio Vaza-Barris



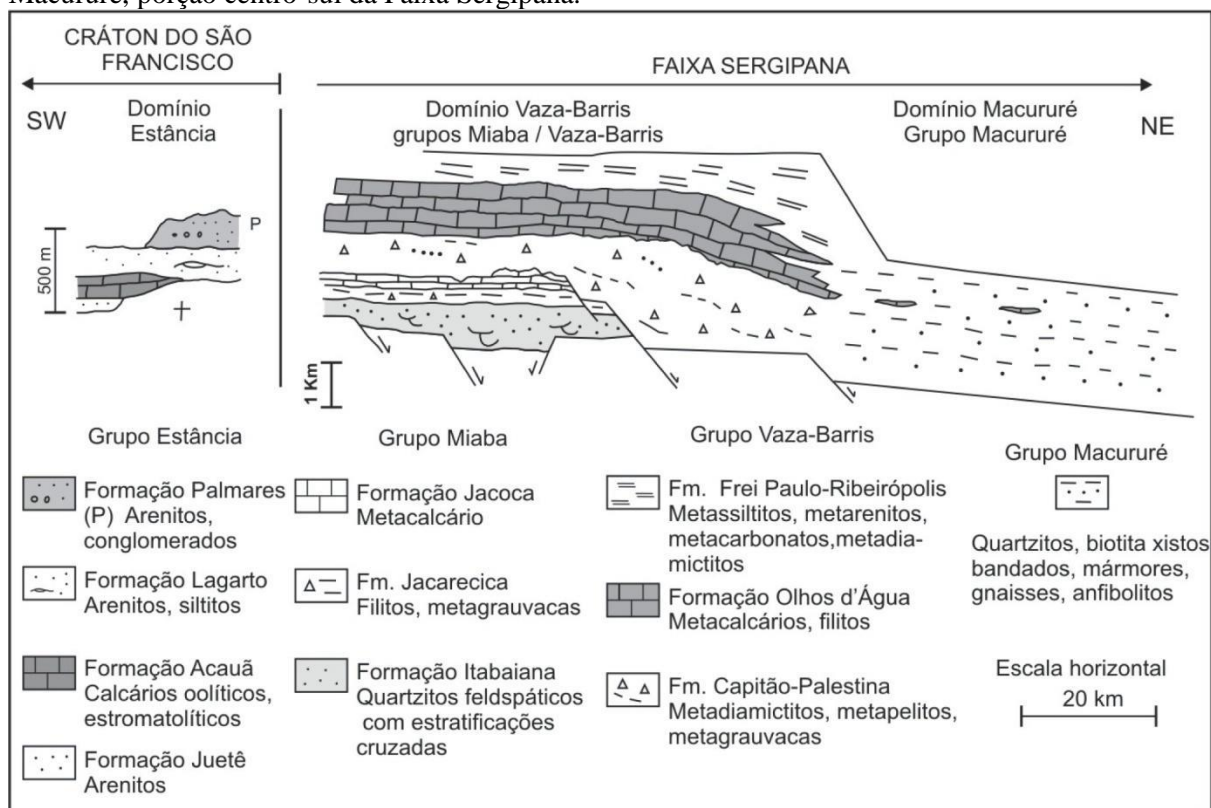
Elaboração: Luana Pereira Lima, 2019.

As estruturas principais são dobramentos antiformais e sinformais de grande porte, convergência para SSW, associados a cavalgamentos e transcorrências. Redobramentos coaxiais são frequentes, e o metamorfismo atinge a fácies xisto-verde. Vulcanismo ocorre muito restritamente, e não há registro de plutonismo. Os principais Grupos do Domínio são: Miaba, Vaza-Barris e Simão Dias.

a) Grupo Miaba

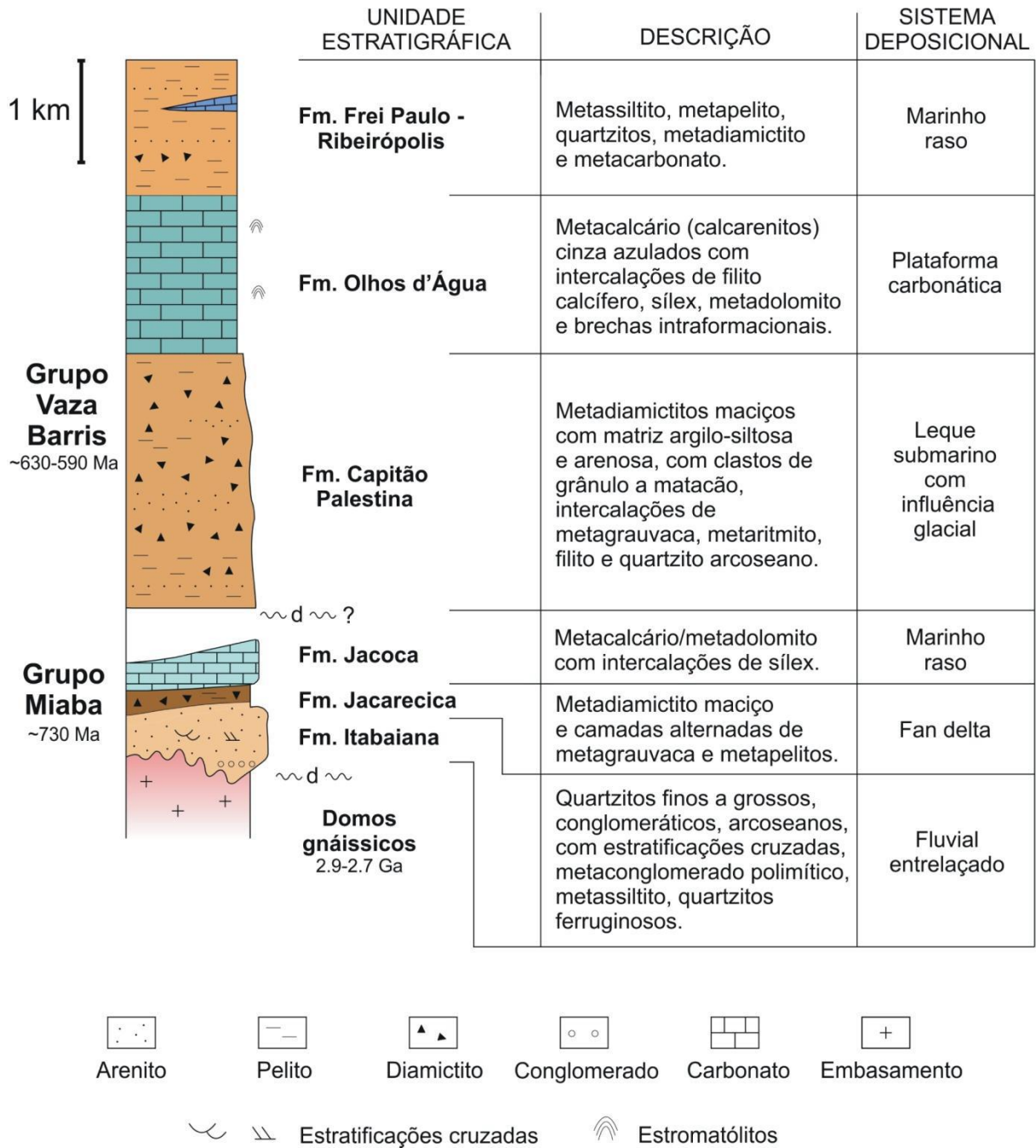
Segundo Uhlein *et al.* (2011), a Formação Itabaiana (20 até 600 metros de espessura), base do Grupo Miaba (figuras 3.3 e 3.4), é formada por quartzitos arcossianos de granulometria média a grosseira, apresentando frequentes estratificações cruzadas e com intercalações de metapelitos (metassiltitos). De acordo com Silva Filho *et al.* (1979), são encontrados no local, também, conglomerados suportados por clastos. Essas litofácies indicam sedimentação fluvial, do tipo entrelaçado (alta energia). Paleocorrentes medidas por Humphrey & Allard (1969) indicam transporte sedimentar para o norte.

Figura 3.3 - Quadro estratigráfico esquemático para os Grupos Estância, Miaba, Vaza-Barris e Macururé, porção centro-sul da Faixa Sergipana.



Fonte: Silva Filho *et al.* (1979) e Uhlein *et al.* (2011).

Figura 3.4 - Coluna estratigráfica dos Grupos Miaba e Vaza-Barris, Faixa Sergipana, com descrição de litofácies e respectivos sistemas deposicionais.



Fonte: Humphrey & Allard (1969), Silva Filho *et al.* (1979) e Uhlein *et al.* (2011).

Segundo Uhlein *et al.* (2011) “as formações Jacarecica (metadiamiccito, metagrauvaca e filito) e Jacoca (carbonatos), com cerca de 200 - 400 m de espessura, representam, possivelmente, um sistema deposicional de *fan-delta*, com possível contribuição glacial”. A partir disso, as litofácies descritas indicam sedimentação gravitacional em ambiente subaquoso,

provavelmente devido a uma importante transgressão marinha ocorrida no período de deposição.

Ainda no tocante a estas unidades, elas apresentam pequena espessura e distribuição restrita, na base, conformadas em torno dos domos gnáissicos. Sial *et al.* (2010) realizaram perfis quimioestratigráficos nos carbonatos da Formação Jacoca e identificaram semelhança com carbonatos de capa Sturtianos. O zircão detrítico mais novo encontrado na Formação Jacarecica baliza a idade máxima de deposição dos protólitos em cerca de 780 Ma (Oliveira *et al.*, 2010).

Segundo Humphrey & Allard (1969) há uma discordância erosiva entre as Formações Itabaiana e Jacarecica, pois os diamictitos apresentam clastos de quartzitos, provavelmente derivados da Formação Itabaiana.

b) Grupo Vaza-Barris

O Grupo Vaza-Barris, com espessura de 2 a 4 km, ocorre estratigraficamente acima, geralmente em contato tectônico, subdividido, da base para o topo, nas Formações Capitão-Palestina (filitos, metadiamictitos, metagrauvaca, metarritmitos), Olhos d'Água (metacarbonatos e metassiltitos) e Frei Paulo-Ribeirópolis (metassiltitos, metarritmitos, quartzitos e filitos), conforme Humphrey & Allard (1969), Silva Filho *et al.* (1979) e Sial *et al.* (2010) e Uhlel (2011).

De acordo Uhlein *et al.* (2011), a Formação Capitão-Palestina consiste na unidade basal do Grupo Vaza-Barris, ocorrendo na porção sul da cidade de Pinhão e nas adjacências do Rio Vaza-Barris. Consiste nos seguintes litotipos: metadiamictito (amplamente predominante), metapelito, metarenito arcossiano e metagrauvaca.

“Os metadiamictitos caracterizam-se por apresentarem uma matriz silto-argilosa cinza-esverdeada a arroxeada, às vezes arenosa, composta de sericita, muscovita, quartzo, pirita, carbonato e óxidos de alteração” (UHLEIN *et al.*, 2011). O arcabouço polimítico inclui clastos de quartzitos, granitóides, carbonatos, quartzo e siltitos, que variam de grânulo a matacão.

Segundo Uhlein *et al.* (2011), a abundância e tamanho dos clastos são variáveis, havendo porções com grânulos e seixos de até 5 cm, dispersos em uma matriz silto-argilosa, que se intercalam com camadas de diamictitos com matriz areno-siltosa predominando seixos e calhaus, ou matações. Os clastos mais abundantes e maiores, entre 5 até 40 cm, são de

granitóides e gnaisses, provavelmente oriundos do embasamento, seguidos pelos clastos de quartzitos, que variam entre 1 a 5 cm (UHLEIN *et al.*, 2011).

Os clastos de carbonatos são menores e mais raros. Ocorrem planos de foliação bem definidos e com estiramento dos clastos. Raramente é possível identificar planos de acamamento. A espessura da unidade é difícil de ser estimada, devido à duplicação tectônica de camadas e dificuldades em se observar o acamamento, entretanto pode-se avaliar a espessura entre 1000 a 1500 metros segundo Humphrey & Allard (1969), Silva Filho *et al.* (1979) e Sial *et al.* (2010) e Uhler *et al.* (2011).

Nas adjacências do rio Vaza-Barris, afloram lentes de metapelito róseo a esverdeado que apresentam, localmente, laminação plano-paralela e ritmicidade, alternando lâminas silto-argilosas (sericita, muscovita, clorita, biotita e óxidos) e lâminas arenosas (quartzo-carbonáticas), (UHLEIN *et al.*, 2011).

A associação de fácies metadiamicrito maciço, metagrauvaca e metarenito arcossiano maciços, metapelito laminado e metarritmito é interpretada como sendo depositada em um sistema deposicional marinho profundo, do tipo leque submarino, onde os diamicritos foram sedimentados a partir de fluxos gravitacionais subaquosos, de detrito/lama. Metagrauvacas com estratificação gradacional sugerem sedimentação turbidítica.

Os corpos de metarenitos lenticulares intercalados podem representar sedimentação a partir dos próprios fluxos gravitacionais ou correntes submarinas associadas, e os metapelitos representam a sedimentação por decantação nos períodos de calmaria, em porções mais distais e profundas.

Os aspectos texturais (mistura de argila-silte até matacão) sugerindo pobre seleção, assim como a elevada espessura, intercalações de metapelitos laminados, permitem interpretar estas rochas como formadas por fluxos gravitacionais subaquosos, num sistema deposicional marinho profundo, do tipo leque submarino.

Os clastos presentes no metadiamicrito indicam erosão de unidades mais antigas, no caso, os arenitos Itabaiana, pelitos Jacarecica e calcários Jacoca, assim como rochas granito-gnáissicas do embasamento.

Um possível evento glacial poderia ter ocasionado o rebaixamento do nível relativo do mar, expondo a plataforma da unidade inferior (Grupo Miaba), promovendo sua exposição e erosão, com consequente formação de uma discordância na borda da bacia. Seixos de metacarbonato e de quartzitos no metadiamicrito sobreposto, sugerem uma discordância erosiva entre os dois grupos. Alterações do tipo dolomitização, devido ao intemperismo químico (HUMPHREY & ALLARD, 1969), identificada no metacarbonato Jacoca (Grupo Miaba),

sugerem também exposição subaérea do Grupo Miaba anteriormente à deposição do Grupo Vaza-Barris.

Além disto, um provável tectonismo extensional, com soerguimento e rebaixamento de blocos por ação de falhamentos normais (formando horsts e grabens), poderia ter propiciado a instalação de rampas, favorecendo a sedimentação gravitacional, principalmente na porção proximal da bacia. A compartimentação da bacia por falhas normais, num modelo de extensão continental, foi sugerida por D`el Rey Silva & McClay (1995) para a Faixa Sergipana.

A Formação Olhos d'Água está sobreposta à Formação Capitão-Palestina através de contato brusco, às vezes tectônicas. A Formação Olhos D'Água constitui-se de intercalações de metacalcarenito médio a fino, calcítico, maciço, de coloração cinza-azulada, e metacalcilutito, com laminação plano-paralela bem evidente.

Veios de calcita branca de duas gerações comumente aparecem preenchendo fraturas. O acamamento mostra direção correspondente ao *trend* tectônico regional (~N70°W) e mergulho variável, de médio a alto ângulo, cerca de 40 a 70°. A espessura máxima estimada gira em torno de 1300 metros (Uhlein *et al.*, 2011).

A associação de fácies metacalcarenito com estratificação *hummocky* e intercalações de calcilutito com laminação plano-paralela e laminação cruzada é indicativa de fácies de tempestitos, que ocorrem em ambiente plataformar, constituindo um sistema marinho de rampa carbonática de retrabalhamento, dominada por tempestades (*mid-ramp*, sensu Burchette & Wright, 1992).

Metacalcários bioquímicos estromatolíticos de águas rasas são descritos por Santos *et al.* (1998), e correspondem à rampa carbonática interna (*inner ramp*), dominada por marés. Os metacalcários de retrabalhamento são os registros dominantes na Faixa Sergipana, principalmente nos arredores de Pinhão (SE), representando depósitos de rampa carbonática média (*mid ramp*), dominada por tempestades.

Os calcários bioquímicos, depositados em sistemas deposicionais litorâneo / marinho raso em rampa interna, seriam a área fonte dos sedimentos carbonáticos de retrabalhamento. Em suma, os metacarbonatos Olhos d'Água foram depositados em padrão retrogradante, constituindo um padrão tipo *onlap* costeiro, durante um trato de sistemas transgressivo (Uhlein *et al.*, 2011).

Formou-se então, uma plataforma carbonática tipo rampa, com sistemas deposicionais de águas rasas, incluindo sedimentação estromatolítica, predominando a sudoeste, e de águas mais profundas a nordeste (tempestitos). O aporte detrítico (suprimento) foi muito reduzido em função do evento transgressivo, favorecendo a sedimentação carbonática (figura 3.5).

Figura 3.5 - Estratigrafia das rochas carbonáticas da Formação Olhos d'Água em Simão Dias.



Crédito: Heleno dos Santos Macedo, 2016.

Os dados quimioestratigráficos das rochas carbonáticas da Formação Olhos d'Água, obtidos por Sial et al. (2006, 2009, 2010), apresentam valores de $\delta^{13}\text{C}$ com carbonatos de capa, com valores negativos (-5‰) na base e positivos (+8 a +10‰) no topo. Oliveira et al. (2005), a partir de datações de U/Pb em zircões detríticos obtiveram uma idade máxima de sedimentação de 653 Ma em metadiamicrito da Formação Capitão-Palestina (Uhlein *et al.*, 2011).

Dessa forma, segundo Uhlein *et al.*, (2011) mostram que

os dados geocronológicos e quimioestratigráficos sugerem que a deposição das formações Capitão-Palestina e Olhos D'água pode ser parcialmente sincrônica ao evento glacial global Marinoano (~635 Ma; Sial et al., 2010). Dessa forma, os diamictitos da Formação Capitão-Palestina provavelmente representam o retrabalhamento por fluxos gravitacionais, em condições de bacia marinha profunda, de depósitos relacionados à glaciação Marinoana.

“O registro continental desta glaciação poderia estar presente em algum local da cobertura cratônica, sob o Grupo Estância, na forma de tilitos (diamictitos) com pequena espessura, possivelmente lenticulares” (UHLEIN *et al.*, 2011).

A Formação Frei Paulo – Ribeirópolis (Silva Filho *et al.*, 1979) aflora estratigraficamente acima dos carbonatos da Formação Olhos d’Água, mostrando variadas litofácies, com predomínio de metassiltitos laminados, carbonáticos, intercalados em filitos prateados e metarritmitos areno-silto-argilosos e metarenitos ou quartzitos. Ocorrem ainda intercalações descontínuas e pouco espessas de metadiamictitos, de rochas metacarbonáticas e de metavulcânicas (Humphrey & Allard, 1969; Silva Filho *et al.*, 1979).

A associação das litofácies descritas, metacarbonato, metadiamictito, metassiltito, filito, quartzito e metapelito carbonático da Formação Frei Paulo-Ribeirópolis indicam um sistema deposicional marinho raso progradacional, com nível do mar diminuindo progressivamente, ocasionando o aumento do suprimento sedimentar e retorno da sedimentação siliciclástica. As litofácies dominantes, metassiltitos, filitos e metarenitos sugerem sedimentação em ambiente marinho raso, plataformar.

Uhlein *et al.* (2011) apresentam uma interpretação da evolução sedimentar do Grupo Vaza-Barris baseada na estratigrafia de sequências, identificando, na base, um trato de mar baixo (diamictitos da Formação Capitão-Palestina), seguido na porção intermediária por um trato transgressivo (carbonatos da Formação Olhos D’água) e capeada por um trato de mar alto (siltitos e arenitos da Formação Frei Paulo – Ribeirópolis).

c) **Grupo Simão Dias**

O Grupo Simão Dias tem distribuição no Domínio Vaza-Barris, porém sua melhor seção tipo aflora em área muito pequena na borda oeste do Domo de Simão Dias. Sua definição é devida a D’el Rey Silva (1995), a partir de modificação da estratigrafia original de Humphrey & Allard (1969). Congrega as formações Jacaré e Frei Paulo e, no presente trabalho, parte deste grupo foi considerada como “indiviso”, nas áreas de distribuição muito restrita. O quadro 3.1 mostra a composição litológica e a interpretação paleoambiental do Grupo Simão Dias.

A Formação Jacaré, definida por D’el Rey Silva (1992), aflora em uma faixa no limite sul do Domínio Vaza-Barris, e tem espessura estimada em cerca de duzentos metros. Seu contato sul é marcado pela zona de cisalhamento dúctil-rúptil contracional, de alto ângulo, que

marca a passagem do Domínio Estância, cratônico, para a faixa dobrada propriamente dita, a norte. Este limite está bem exposto a noroeste e a nordeste de Lagarto.

Quadro 3.1 – Litofáceis e ambientes de deposição do Grupo Simão Dias.

Grupo	Fm.	Descrição	Ambiente
SIMÃO DIAS	Frei Paulo	MNfp ₁	Filitos siltosos, metarenito impuros e metarritimos (margas, calcários, folhelhos e siltitos).
		MNfp ₂	Metarenitos impuros filitos intercalados com metarenito e metacarbonatos, subordinados.
		MNfp ₃	Quartzo-sericita-clorita filitos, metagrauvacas e metarritimos finos. Lentes locais de vulcanitos básicos intermediários.
	JACARÉ	Metassiltitos micáceos e metassiltitos com lentes subordinadas de metarenitos e metargilitos.	Ambientes de plataforma lamosa, com eventuais condições de ambientes de intramaré.
	INDIVISO	Metarenitos micáceos laminados, metarenitos e metagrauvacas finas e maciças; metassiltitos.	

Adaptado de Santos, 2001. Organização: Heleno dos Santos Macedo, 2018.

Nestes locais observa-se a passagem brusca dos sedimentos anquimetamórficos do Grupo Estância, com abundantes estruturas sedimentares preservadas, para metassiltitos e filitos tectonicamente muito deformados da Formação Jacaré, de fácies xisto-verde.

O contato norte dessa formação com a Formação Frei Paulo é gradacional. A Formação Frei Paulo constitui-se na mais expressiva unidade do Grupo Simão Dias, ocorrendo principalmente na parte norte do Domínio Vaza-Barris. Sua espessura máxima é estimada em cerca de quinhentos metros.

Seu contato inferior com litótipos do Grupo Miaba é frequentemente marcado por zonas de cisalhamento contracionais, frontais e oblíquas, como se observa em Ribeirópolis, ou é gradacional, como ocorre na borda leste do Domo de Itabaiana.

A sul de Carira e em São Miguel do Aleixo, entra em contato com granitóides tipo Glória e com metassedimentos do Grupo Macururé através da zona de cisalhamento

contracional oblíqua que limita os domínios Vaza-Barris e Macururé. O contato superior, com o Grupo Vaza-Barris, é marcado por uma inconformidade.

A Formação Frei Paulo é basicamente composta por filitos, interestratificados ritmicamente com metarenitos e metacarbonatos impuros, agrupados e cartografados em três litofácies interdigitadas (MNfp1, MNfp2 e MNfp3).

Os contrastes de competência e espessura das camadas, característicos desta formação, possibilitaram o registro marcante da tectônica compressional que afetou o Domínio Vaza-Barris. Pode-se constatar, num mesmo afloramento, grande diversidade de estilos de dobras, geralmente com eixos subhorizontais e superfície axial de alto ângulo.

3.2 Evolução Geológica da Bacia de Sergipe

No Paleozóico e o Mesozóico processou-se na área correspondente ao estado de Sergipe, a deposição dos sedimentos pertencentes às bacias de Tucano e Sergipe, relacionadas a eventos precursores e concomitantes à separação entre a América do Sul e a África. Foram esses eventos que marcaram a deposição dos carbonatos do carste Bacia Sergipe.

A evolução geológica dessa bacia sedimentar se processou em quatro fases, caracterizadas pelas feições sedimentares e tectônicas das diversas unidades litoestratigráfica descritas: fases sinéclise, pré-rift, sin-rift e margem passiva (figura 3.6).

Na fase sinéclise estavam-se depositando a leste, na Bacia de Sergipe, as formações Batinga (carbonífera), em ambiente glaciomarinho, e Aracaré (permiana), em ambiente costeiro influenciado por tempestades e retrabalhado por ventos (Feijó, 1994) - (figura 3.6a).

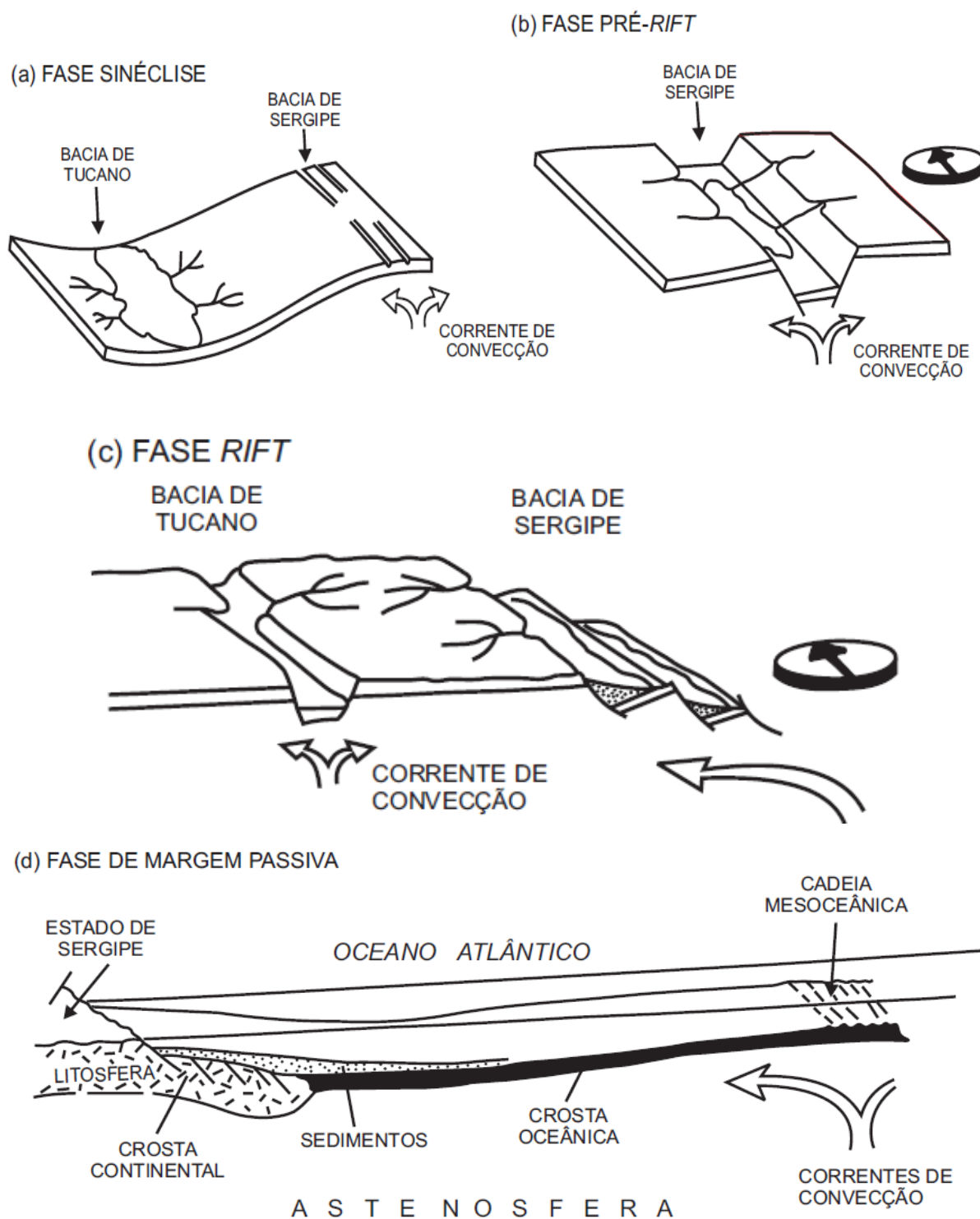
A sedimentação na fase pré-rift, foi marcada com a deposição da Formação Bananeiras, Formações Serraria, Barra de Itiúba (parte basal) e Penedo (parte basal), depositadas no Eo-Cretáceo, em ambiente continental, através de sistemas fluvial (caso da Formação Serraria) e lacustre. (Chagas et al., 1993; Feijó, 1994; Chagas, 1996) - (figura 3.6b)

A fase *sin-rift*, ocorrida no Cretáceo Inferior, está registrada na Bacia de Sergipe, pelas formações Barra de Itiúba, Penedo, Rio Pitanga e Coqueiro Seco (figura 3.6c). Segundo Santos et al. (1990) e Bueno et al. (1994), a Formação São Sebastião depositou-se em ambiente continental, através de sistemas flúvio-ólicos. A sedimentação na Bacia de Sergipe, nessa fase, se deu em ambiente continental, através de sistemas fluvial, deltaico e lacustre (Chagas et al., 1993; Chagas, 1996).

Finalmente, na fase de margem passiva, houve deposição na Bacia de Sergipe, durante o Cretáceo. Em decorrência da separação América do Sul-África, o ramo ativo do sistema de

rifts foi invadido pelo mar, depositando-se as formações Riachuelo, Cotinguiba e Calumbi (figura 3.6d). Na primeira formação está registrada a passagem de leques aluviais para ambiente marinho nerítico. As formações Cotinguiba e Calumbi foram depositadas em ambiente marinho, batial-abissal e francamente abissal (Lana, 1990; Feijó, 1994).

Figura 3.6 - Esquema evolutivo das bacias sedimentares do Estado de Sergipe.



Para o carste Bacia Sergipe, a evolução paleogeográfica ocorrida na faixa costeira foi determinante para o seu desenvolvimento, pelos processos de deposição da Formação Barreiras e pelos movimentos transgressivos e regressivos do mar em relação ao trabalho de entalhamento das redes de drenagem que compunham essa área.

Embora o termo Barreiras tenha sido usado pela primeira vez por Branner (1902), para descrever as camadas de cores variadas, que afloram nas escarpas ao longo do litoral do Nordeste do Brasil, a sua denominação foi formalizada apenas em 1964 por Bigarella & Andrade. Os sedimentos da Formação Barreiras estão distribuídos amplamente no leste do estado de Sergipe, separados da linha de costa pelas coberturas continentais pleistocênicas e holocênicas (SANTOS, 2001).

Trata-se de depósitos correlativos de duas fases de pediplanação que ocorreram ao longo de toda a costa brasileira durante o Cenozóico (ANDRADE, 1955; BIGARELLA & ANDRADE, 1964): a primeira foi desenvolvida no Plioceno Inferior, gerando a Superfície Sul-Americana; a segunda, do Plioceno Superior, deu origem à Superfície Velhas (KING, 1956). Esses sedimentos são responsáveis em encobrir parte das rochas carbonáticas dessa área cárstica sendo um dos fatores para a incipiência do processo de carstificação.

A Formação Barreiras é constituída por sedimentos terrígenos (cascalhos, conglomerados, areias finas e grossas e níveis de argila), pouco ou não consolidados, de cores variegadas e estratificação irregular, normalmente indistinta (SCHALLER, 1969; VILAS BOAS et al., 1996). Os sedimentos da Formação são afossilíferos, o que dificulta sua datação. Ghignone (1967) e Mabelsoone et al. (1972) os consideram mais recentes que o Mioceno. Para outros autores, sua idade está entre o Terciário Médio e o Pleistoceno (Salim et al., 1975), ou entre o Plioceno Inferior e o Superior (Sugio et al., 1986).

3.2.1 Estratigrafia e sistemas deposicionais das Formações Riachuelo e Continguiaba

O termo Grupo Sergipe foi usado por Hartt (1870) para designar os sedimentos marinhos das bacias de Sergipe e Alagoas, na categoria de série, ou então sistema. A sua formalização como grupo deve-se a Schaller (1969), que o subdividiu nas formações Riachuelo, Cotinguiba e Piaçabuçu. Nas descrições, a seguir, é adotado o conceito de Feijó (1994), que excluiu a Formação Piaçabuçu, elevando-a à categoria de grupo.

A Formação Riachuelo (cujo o nome desta formação deriva da cidade de Riachuelo), em cujos arredores ela aflora, bem como ao longo de uma faixa com cerca de vinte quilômetros

de largura, desde a cidade de Itaporanga até as proximidades setentrionais da cidade de Pacatuba (CAMPBELL, 1948).

A Formação Riachuelo está dividida em três membros interdigitados entre si, cujas seções- tipo, descritas a seguir, representam o estratótipo da formação (SCHALLER, 1969):

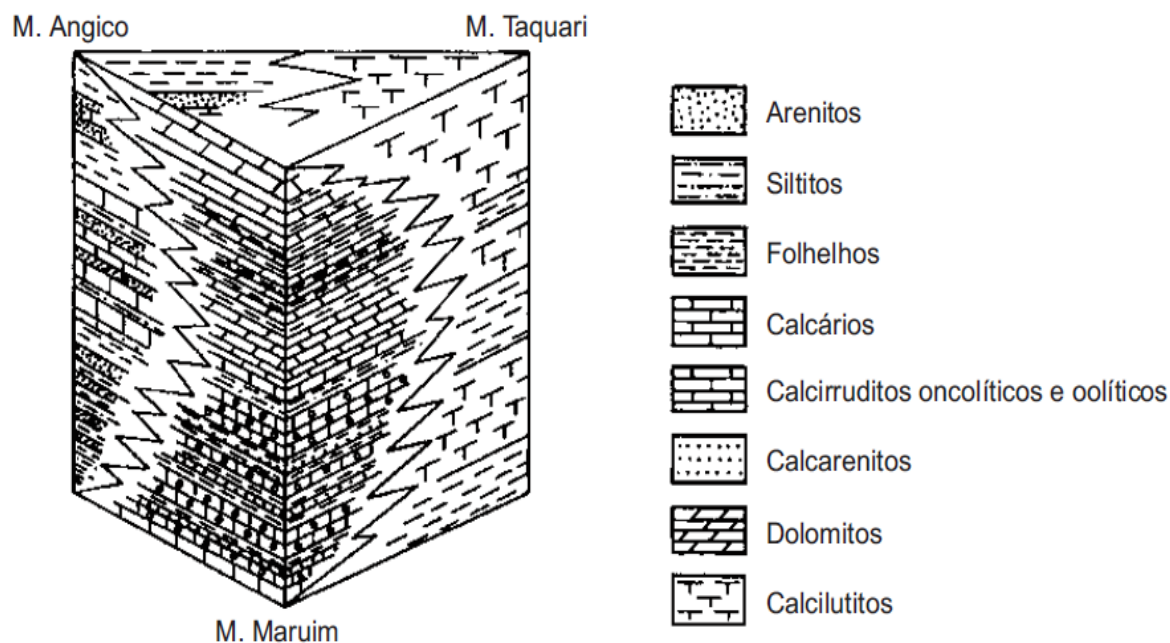
- a) **Membro Angico** – afloramentos situados na estrada que liga a fazenda Angico à cidade de Riachuelo. Possui uma espessura máxima de 915m;
- b) **Membro Maruim** – afloramentos da margem direita do rio Sergipe, entre dois e cinco quilômetros a noroeste da ponte de Pedra Branca. A sua espessura máxima é de 1.124m (figura 3.7);
- c) **Membro Taquari** – afloramentos do trecho da rodovia BR-101, desde duzentos metros sudoeste até 1.300m nordeste do poço CPX-1-SE (Carmópolis), perfurado junto à fazenda Santa Bárbara. A sua espessura máxima é de 716m. Seus contatos, basal com a Formação Muribeca e superior com a Formação Cotinguiba, são concordantes. Ademais, atribui-se à Formação Riachuelo uma idade albiana, em razão da presença de foraminíferos plantônicos, nanofósseis calcários e palinomorfos (figuras 3.8 e 3.9).

Figura 3.7 – Afloramento da Formação Riachuelo, Membro Maruim em Laranjeiras




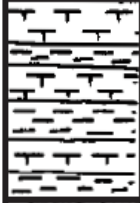
Crédito: Heleno dos Santos Macedo, 2016.

Figura 3.8 - Digrama de painel mostrando a relação entre os membros Angico, Maruim e Taquari da Formação Riachuelo.



Fonte: Santos, 2001

Figura 3.9 - Coluna estratigráfica composta da Formação Riachuelo



DESCRIÇÃO		INTERPRETAÇÃO
	Membro Angico: Arenitos brancos, finos a conglomeráticos, com intercalações de siltito, folhelho e calcário. Leitões coquinóides.	Deposição por leques alúvio-deltaicos.
	Membro Taquari: Calcilutito e folhelho cinzentos, interacamadados.	Deposição em talude.
	Membro Maruim: Calcarenitos e calcilutitos oncolíticos e oolíticos creme; dolomitos creme a castanho; recifes algálicos isolados. Níveis subordinados de arenito, siltito e folhelho.	Deposição em plataforma carbonática.

Fonte: Santos, 2001

O nome da formação deriva da cidade de Cotinguiba, hoje Nossa Senhora do Socorro, e ela aflora apenas no estado de Sergipe, ao longo de uma faixa com cinco a dez quilômetros de largura, desde a cidade de Japaratuba até o rio Real. Como seção tipo da formação, foram escolhidos os afloramentos situados ao longo da rodovia BR-101, no trecho entre a cidade de Nossa Senhora do Socorro e a localidade de Pedra Branca (SANTOS, 2001).

O contato inferior da Formação Cotinguiba é concordante com as formações Muribeca e Maceió, ou discordante com a Formação Riachuelo; o contato superior com a Formação Calumbi é discordante. Sua espessura média varia em torno de duzentos metros, mas localmente pode ser bem maior. A formação está dividida nos membros Aracaju e Sapucari, com espessuras máximas de 280m e 44m, respectivamente (figura 3.10). De acordo com Feijó (1994) sua idade vai do Cenomaniano ao Coniaciano (Cretáceo Superior).

Figura 3.10 - Coluna Estratigráfica composta da Formação Cotinguiba

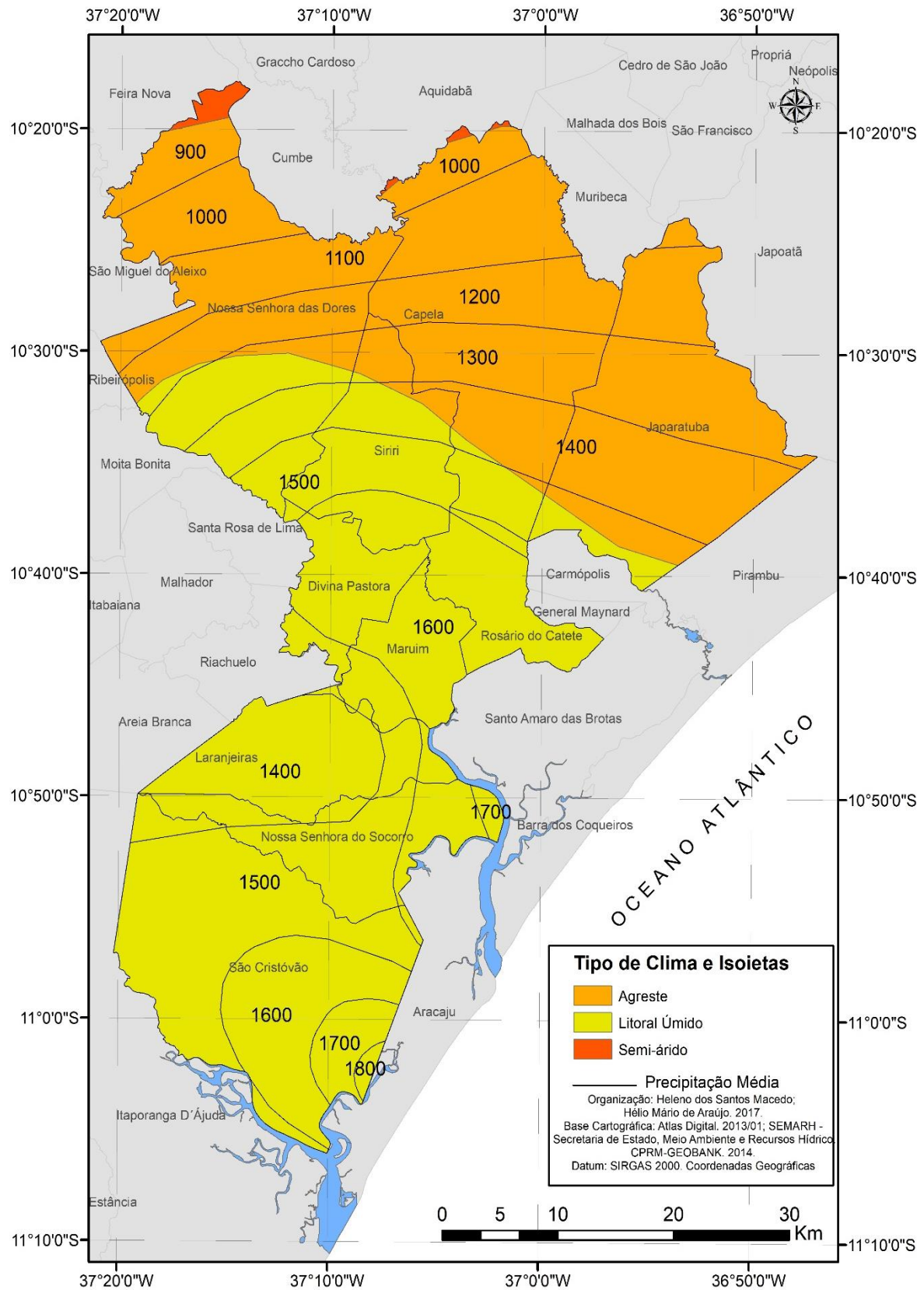
DESCRIÇÃO		INTERPRETAÇÃO
	Membro Sapucari: calcilutitos cinzentos maciços ou estratificados, localmente brechas e bancos de coquina (pedreira de Sapucari, Laranjeiras, SE).	Deposição em talude e bacia oceânicos.
	Membro Aracaju: argilitos ou siltitos cinza a verde, com intercalações de folhelhos castanhos betuminosos e margas amareladas (intervalo 597-748m do poço CA-1-SE).	

Fonte: Feijó, 1994

3.3 O Clima do Nordeste do Brasil durante o Holoceno

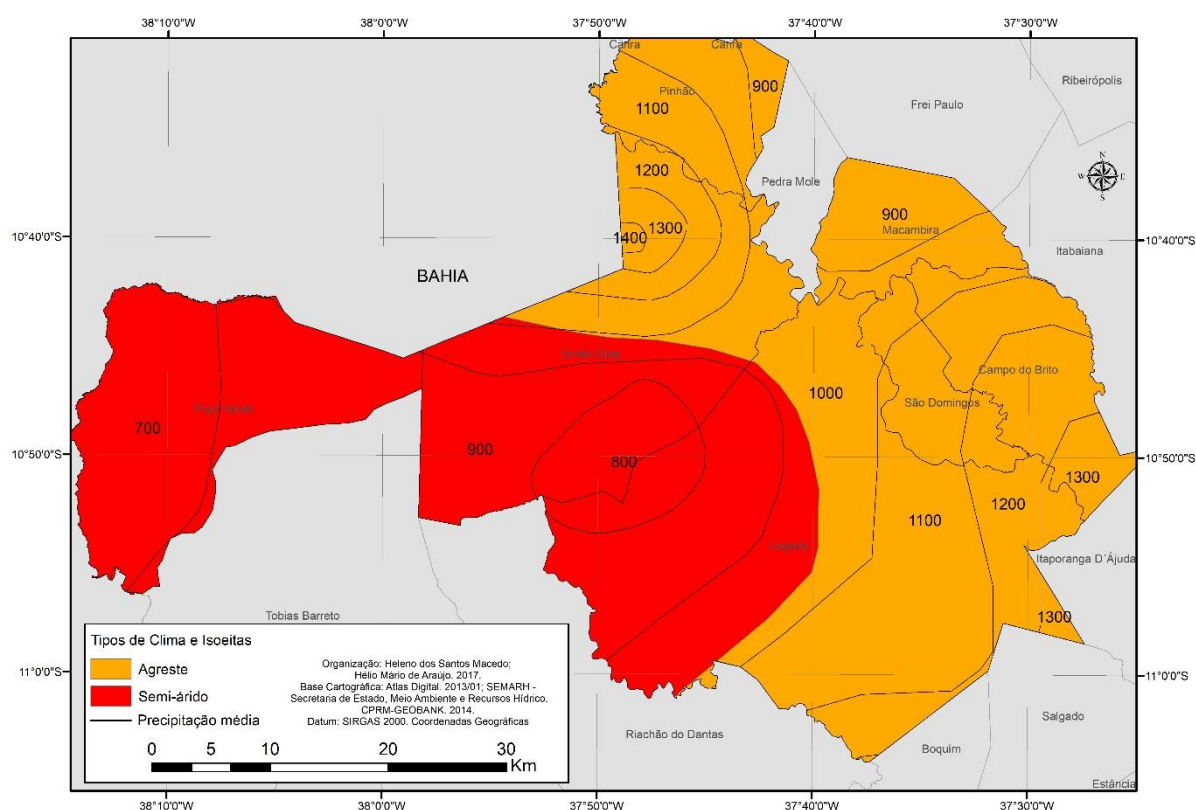
O Nordeste do Brasil (NEB) possui condições climáticas atuais tropicais, áridas a semiáridas. A intensificação dessas condições de aridez tem afetado diretamente o desenvolvimento econômico e social da região (MARENGO et al., 2011). As faixas que correspondem ao carste sergipano encontram-se em três unidades climáticas: Tropical Litorâneo (úmido); agreste e semiárido (figuras 3.11 e 3.12).

Figura 3.11 – Tipos de clima no carste Bacia Sergipe.



Organização: Heleno dos Santos Macedo, 2018.

Figura 3.12 – Tipos de clima no carste Olhos D'Água/Frei Paulo.



Organização: Heleno dos Santos Macedo, 2018.

As precipitações no NEB são predominantemente controladas pela sazonalidade da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), que migra na região equatorial entre os Hemisférios como resultado de um balanço energético que movimenta a ZCIT para a área oceânica mais quente (SCHNEIDER, BISHOFF e HAUG, 2014). Além da ZCIT, o território sergipano é regulado por zonas de altas pressões subtropicais do atlântico e do Pacífico, bem individualizadas em duas amplas células semifixas e permanentes sobre os oceanos e zonas de baixas pressões subpolares.

O Holoceno foi proposto por Walker et al. (2008) e formalizado por Walker et al. (2009), com início em 11.700 anos b2k (antes do ano 2000 AD) permanecendo até os dias atuais. Essa idade foi baseada em parâmetros químicos e físicos descritos para o NGRIP2, da sigla em inglês para *NorthGreenland Ice Core*, indicadores de aquecimento no final do Evento *Younger Dryas/Greenland Stadial 1* (UTIDA, 2016).

Os principais eventos climáticos ocorridos no Holoceno são os 8 Eventos Bond (Bond et al., 1997; Bond et al., 2001), Período de Umidade Africano (AHP), registrado entre 14.500 e 5.500 anos BP, a Anomalia Climática Medieval (MCA) entre ~900 e 1.100 AD (Mann, 2002a), e a Pequena Idade do Gelo (LIA) entre ~1.100 e 1.420 anos AD (Mann, 2002b). No

NEB os principais eventos registrados, e que são de interesse nesta pesquisa, são as mudanças ambientais ocorridas em torno de 5,000 anos atrás, o MCA e o LIA.

Durante o Holoceno médio os registros paleoclimáticos produzidos para o nordeste apresentam interpretações discordantes. Ao passo que reconstituições da atividade do SMAS baseado em análises de $\delta^{18}\text{O}$ de espeleotemas apontam para condições úmidas próximas de 6.000 anos AP (CRUZ et al., 2009), coerente com a curva de insolação, dados palinológicos apresentados por Oliveira et al. (1999), Pessenda et al. (2010) apontam para o estabelecimento de condições predominantemente secas. Eventos de seca também são registrados no continente africano durante o Holoceno médio, relacionados ao pico de insolação em torno de 5.000 anos, marcando o término abrupto do Período de Aquecimento Africano (AHP) (DEMENOCAL et al., 2000; LIU et al., 2007; TIERNEY et al., 2011).

Os períodos úmidos e secos são evidenciados dentro das cavidades do carste sergipano, principalmente pela presença e/ou ausência de sedimentos fluviais (contendo brechas e conglomerados) nos condutos das cavidades em porções diferentes no estado (figura 3.13).

Figura 3.13 – Clastos fixados em teto na caverna da Miaba em São Domingos



Organização: Heleno dos Santos Macedo, 2018.

Nos últimos milênios, o MCA é utilizado para designar um período de verões intensos e grandes secas registradas em diversas regiões do Hemisfério Norte, principalmente na Europa

e América do Norte, com máximo em torno de 1.000 e 1.200 anos AD (MANN, 2002a; BRADLEY, HUGHES e DIAZ, 2003; KLEPPE et al., 2011).

O aquecimento diferencial entre os oceanos Atlântico Norte e Sul, em termos de temperatura da superfície do mar (TSM), são responsáveis pelo deslocamento da ZCIT para a região mais quente, e, resposta ao balanço de energia atmosférico (SCHNEIDER, BISHOFF e HAUG, 2014). Sendo assim, espera-se que durante o MCA no NEB as condições sejam de seca. De acordo com dados de isótopos de oxigênio obtidos em espeleotemas da porção sul do NEB, o MCA é caracterizado como um período seco, (NOVELLO et al., 2012), associado as variações de intensidade da SMAS, também influenciada pelas variações de temperatura dos oceanos, principalmente pela Oscilação Multidecal do Atlântico (OMA).

Outros registros no Hemisfério Sul sugerem que durante o MCA as condições foram de seca na Patagônia (STINE, 1994) devido à redução de intensidade da SASM, com deslocamento da ZCIT para Norte nos Andes (BIRD et al., 2011; APAESTÉGUI et al., 2014), o que concordaria com a seca na porção sul do NEB. Adicionalmente, na Bacia de Cariaco foram registradas condições úmidas (HAUG et al., 2003), concordando com o deslocamento da ZCIT para Norte, o que resultaria em condições contrárias as registradas por Zocatelli et al. (2012) e Viana et al. (2014) na Lagoa do Boqueirão no Rio Grande do Norte.

O evento mais recente, o LIA, corresponde ao último período de expansão rápida de geleiras, com resfriamento das águas do Atlântico Norte, em intervalo em torno de 1.500 e 1.850 anos AD (LUCKMAN, 2000; MANN, 2002b; CLAGUE et al., 2009; WANNER et al., 2015). Inversamente as condições ocorridas durante o MCA, a redução da SST no Atlântico Norte resultaria em deslocamento da ITCZ para a área relativamente mais quente, o Atlântico Sul durante o LIA (SCHNEIDER, BISCHOFF e HAUG, 2014). Durante o LIA no NEB os registros indicam fase seca, devido aos valores mais enriquecidos de $\delta^{18}\text{O}$ em espeleotemas (NOVELLO et al., 2012). No restante da América do Sul também ocorrem eventos de seca, como observados por Fritz et al. (2006), Ekdahl et al. (2008), Prado et al. (2012), relacionados com o mínimo de insolação.

Outros dados na América do Sul demonstram que durante o LIA houve migração da ZCIT mais para sul, decorrente da diminuição da TSM do Atlântico Norte. Como resultado foram registradas fases de intensificação do SMSA com aumento da precipitação no nordeste do Peru (REUTER et al., 2009; BIRD et al., 2001; VUILLE et al., 2011; APAÉSTEGUI et al., 2014). O deslocamento da ZCIT para sul também pode intensificar os ventos de nordeste, aumentando a ressurgência no litoral do Rio de Janeiro, conforme Souto et al. (2011).

Tais comportamentos climáticos do NEB poderiam ser explicados pelo aumento da baixa pressão sobre o NEB, decorrente do aumento da atividade convectiva no oeste da bacia Amazônica, resultando em um comportamento antifásico dentro do continente. A característica antifásica intracontinental confere aos eventos úmidos no NEB no Brasil mantém correlação com as fases de mínimo de insolação de verão, que atua possivelmente como forçante dos sistemas climáticos (CRUZ et al., 2009; NOVELLO et al., 2012).

A posição da ZCIT mais para sul é também indicada pela ocorrência de seca na Bacia de Cariaco (HAUG et al., 2003), localizada a Norte da posição da ITCZ durante o verão, não recebendo umidade durante o LIA (REUTER et al., 2009; BIRD et al., 2011; VUILLE et al., 2011), estando em fase com o NEB brasileiro (CRUZ et al., 2009; NOVELLO et al., 2012).

A escassez de dados paleoclimáticos sobre o NEB, a atuação de mais de um sistema climático (ZCIT e SMAS) e dados com interpretações opostas não permitem uma caracterização mais apurada do clima no NEB durante o Holoceno. Desse modo, são necessários mais dados de alta resolução para caracterizar as mudanças climáticas ocorridas nessa região a fim de contribuir com o conhecimento da evolução do paleoclima e dos modelos climáticos do NEB e de Sergipe.

A variabilidade temporal e espacial da precipitação em escala local foi observada através de dados pluviométricos obtidos pela Agência Nacional de Águas (ANA) nos municípios de Simão Dias, Lagarto, Laranjeiras, Maruim e Nossa Senhora do Socorro.

Os dados pluviométricos permitiram observar que entre 1940 e 2000, em todos esses municípios a principal estação chuvosa foi o inverno com significativo aumento das chuvas iniciando em abril. Em Laranjeiras, Maruim e Nossa Senhora do Socorro os acumulados médios anuais de precipitação correspondem, respectivamente, a 1.425,5, 1.687,2 e 1.781 mm/ano e em Simão Dias e Lagarto a 980 e 1.067,3 mm/ano, respectivamente.

As chuvas que ocorrem nos meses de outono, caracterizaram esta estação como a segunda mais chuvosa correspondendo entre 18 a 27,4 % do acumulado total de precipitação nos municípios estudados.

3.4 Unidades do Relevo em Sergipe

Em Sergipe, as estruturas e as formações litológicas são antigas, mas as formas do relevo são mais recentes. A partir dos efeitos da tectônica meso-cenozóica os desgastes erosivos estão continuamente produzindo novas feições ao modelado. Assim sendo, as formas grandes e pequenas do relevo têm como mecanismo genético, de um lado, as formações litológicas e os

arranjos estruturais antigos, e, de outro, os processos mais recentes reativados pela movimentação dos megablocos estruturais representados pelas placas litosféricas e o constante desgaste erosivo promovidos pelos climas anteriores e atuais.

Os processos desnudacionais propostos por King (1956) e Ross (2013) podem ser evidenciados nas feições do relevo do ambiente cárstico sergipano, tanto na faixa dos cinturões orogenéticos (Domínio Vaza-Barris) como na Bacia Sedimentar de Sergipe.

Na porção referente ao carste Bacia Sergipe encontram-se as unidades do relevo Planície Costeira, Superfícies de rios (planície fluvial), Tabuleiros Costeiros (principal unidade do relevo na área) e uma faixa a noroeste do Pediplano Sertanejo. No carste Olhos D'Água/Frei Paulo encontra-se a unidade Pediplano Sertanejo, intercalada por serras residuais e os Tabuleiros Costeiros na porção leste, no contato com o Domínio Estância e as Formações Superficiais (figuras 3.14 e 3.15).

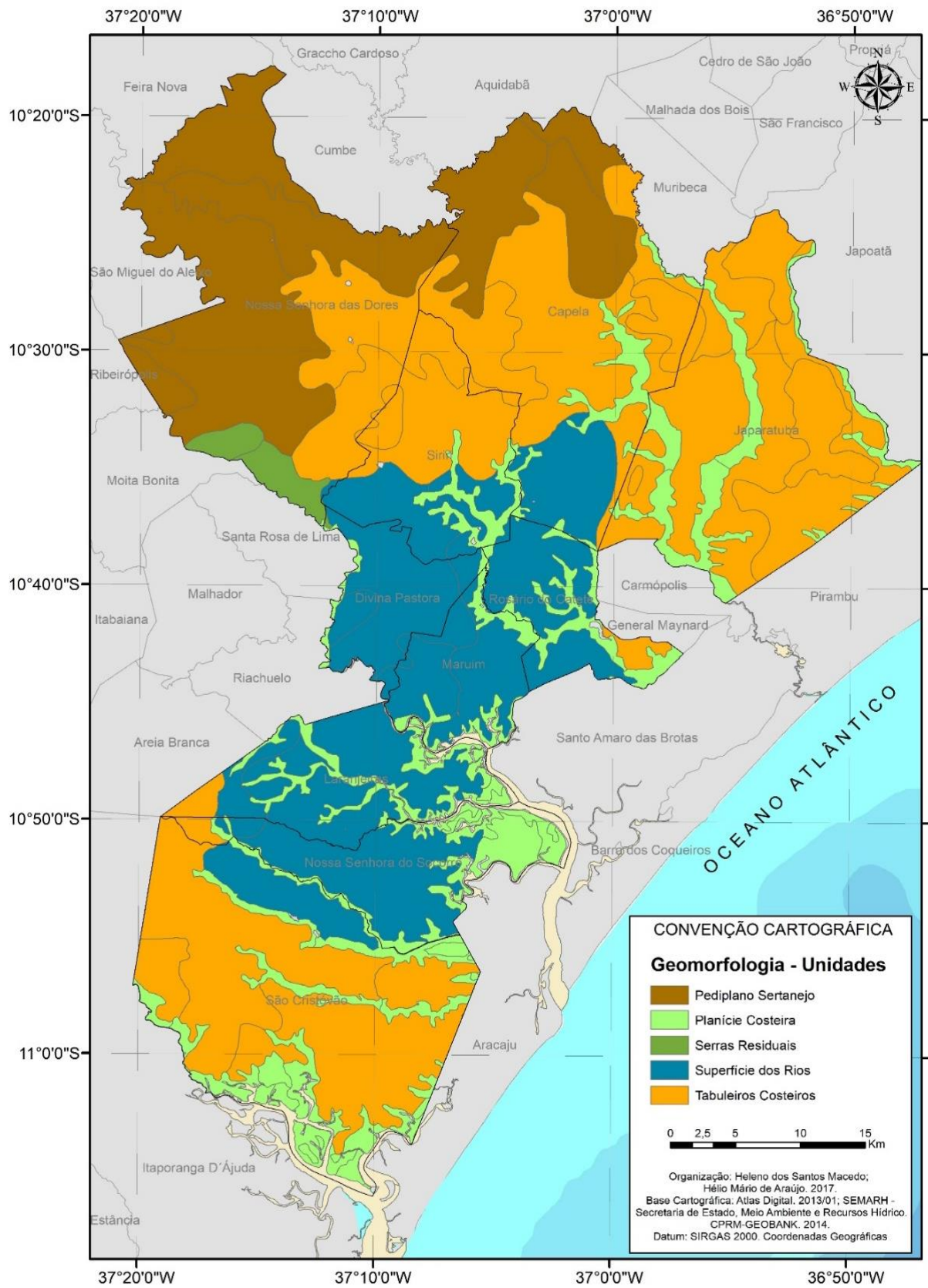
A maior porção da paisagem do carste Bacia Sergipe é constituída pelos Tabuleiros Costeiros, modelados nos sedimentos da Formação Barreiras de idade plio-pleistocênica, que se superpõem ao embasamento cristalino e aos sedimentos mesozoicos da bacia Sedimentar de Sergipe. São formas tabulares que se estendem do interior para o litoral, com altitudes em torno de 100 metros.

As vertentes dos tabuleiros são constituídas, além dos sedimentos da Formação Barreiras, pelas rochas jurássico-cretáceas da bacia sedimentar. Essas vertentes podem ser distinguidas a oeste das planícies costeiras, as falésias mortas ou frente dos tabuleiros e às vertentes dos vales fluviais. Apresentam, geralmente, dominância de trechos convexos que, muitas vezes, formam todo o declive, atingindo o fundo dos vales de forma suave, quando os rios e/ou riachos que os percorrem ainda não desenvolveram o plano aluvial (figura 3.16).

No topo desses tabuleiros ocorrem camadas espessas de areais e siltes, de textura variando entre grosseira e muito grosseira que deram origem ao Neossolo Quartzarênico, onde se registam atividades de mineração.

A característica de semiplanos faz com que os processos erosivos se restrinjam no topo, sendo a ação do escoamento difuso menos acentuada devido à influência da topografia e da permeabilidade desses sedimentos. Eles facilitam a infiltração das águas após as primeiras chuvas de outono-inverno, restringindo a violência e o volume do escoamento superficial. Em alguns casos, porém, quando ocorre sedimentos argilosos, o escoamento superficial é intensificado e, com ele, a dissecação do modelado.

Figura 3.14 – Formas de relevo dos Municípios do carste Bacia Sergipe.



Organização: Heleno dos Santos Macedo, 2018.

Figura 3.15 – Formas de relevo dos Municípios do carste Olhos D’Água/Frei Paulo.

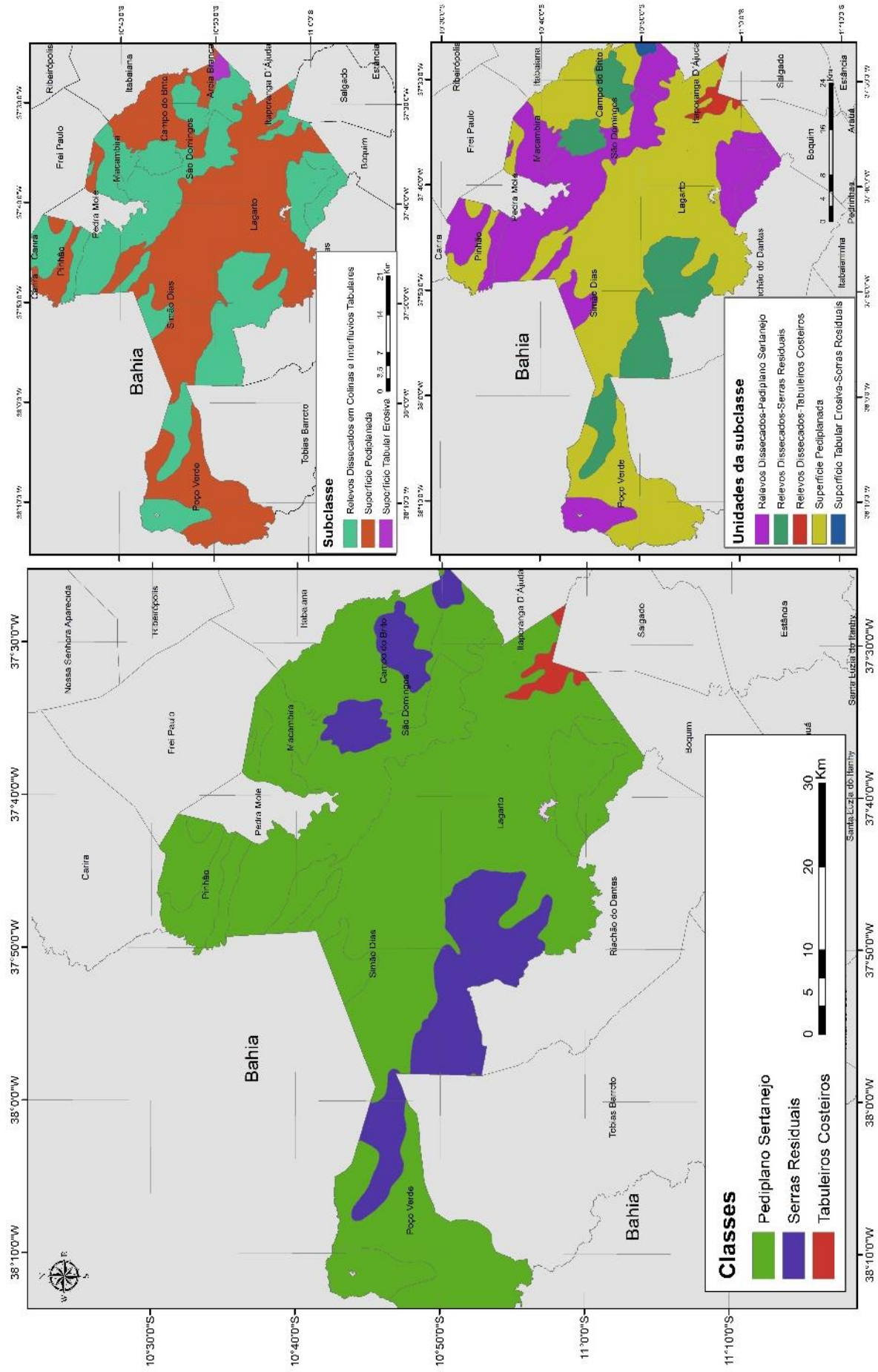


Figura 3.16 – Trecho convexo da vertente na unidade Tabuleiros Costeiros em Laranjeiras.



Crédito: Heleno dos Santos Macedo, 2018.

A outra unidade do relevo que ocupa parte das áreas dos municípios do carste de Sergipe é o Pediplano Sertanejo, principalmente no carste Olhos D'Água/Frei Paulo. Essa unidade engloba áreas aplainadas e dissecadas, que se elevam, gradativamente, de leste para oeste (figura 3.17). Encontra-se sob domínio de climas semiáridos e subúmido-seco, que interferem nos processos de alteração das rochas, na esculturação do relevo, na vegetação e na formação dos solos. É caracterizada pela predominância de modelados de dissecação homogênea, ou seja, pela erosão fluvial, com áreas restritas de dissecação diferencial marcada pelo controle estrutural.

Figura 3.17 – Área pediplanada no entorno do Domo de Simão Dias.



Crédito: Heleno dos Santos Macedo, 2016.

Os perfis das vertentes são variados, abrangendo formas suavemente convexas até aquelas que se apresentam retilíneas, mostrando os diferentes graus de influência das condições climáticas exercidas sobre rochas de resistência também diferenciada. A vertente de forma côncava está relacionada à atuação do clima quente e seco, em que a cobertura vegetal, pouco eficaz, favorece o escoamento concentrado, notadamente nas baixas vertentes, onde ocorre maior energia das águas, sendo responsável pelo sulcamento e concavização. Em geral, os vales são rasos, largos, de fundo plano, com leitos arenosos e, localmente, pedregosos, limitados por encostas com baixo declive (Figura 3.18).

Figura 3.18 – Vertentes convexas – côncavas em ambiente de vales rasos em Simão Dias.



Crédito: Heleno dos Santos Macedo, 2016.

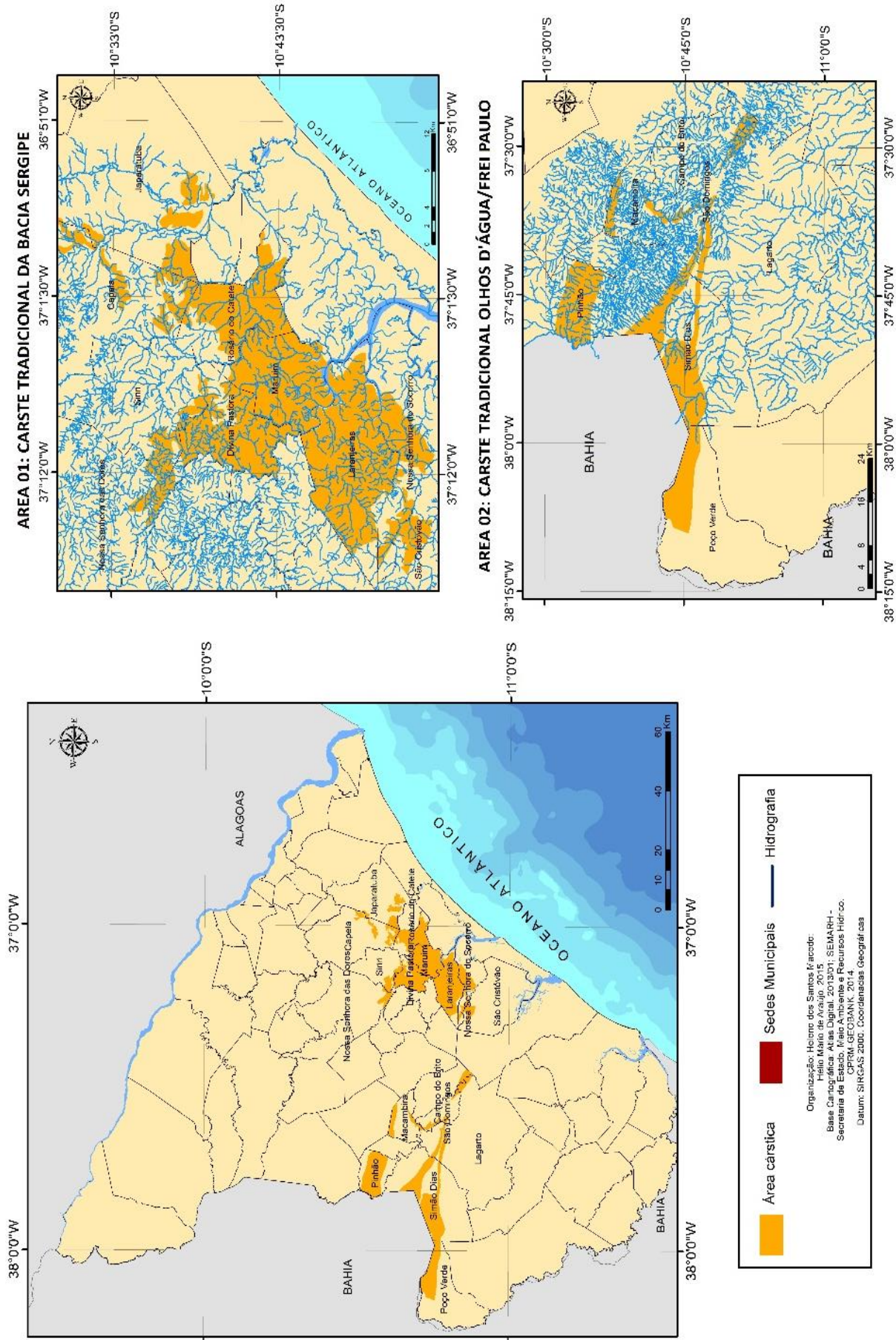
As Serras Residuais são oriundas do processo de dissecação diferencial próximas das áreas dos Domos de Simão Dias e Itabaiana. As altimetrias dessas serras variam entre 300 a 659 metros de altitude.

As unidades Planície Costeira e Planície Fluvial ocorrem a leste dos tabuleiros costeiros e integram a zona costeira, seguindo o modelo clássico das costas que avançam em direção ao oceano, em decorrência das condições ambientais variáveis durante o quaternário. Essas feições se caracterizam por processos de deposição de sedimentos superior ao erosivo.

3.5 Águas superficiais e Subterrâneas do carste em Sergipe

As águas superficiais e subterrâneas possuem um papel importante no processo de esculturação das paisagens cársticas. A água é responsável pelos processos de dissolução e transporte do material litológico removido durante o processo de carstificação. O carste sergipano está situado dentro de quatro Bacias Hidrográficas (BH): Japaratuba, Sergipe (carste Bacia Sergipe), Vaza-Barris e Piauí no carste Olhos D'Água/Frei Paulo (figura 3.19).

Figura 3.19 – Bacias Hidrográficas que compõem as paisagens cársticas de Sergipe.



A BH do rio Japaratuba, situa-se na região nordeste do estado de Sergipe, possui uma área de 1.674,24 km², equivalente a 7,65% do território estadual e abrange dezoito municípios, onde quatro estão totalmente inseridos: Capela, Carmópolis, Cumbe e General Maynard e parcialmente quatorze municípios: Aquidabã, Barra dos Coqueiros, Divina Pastora, Feira Nova, Graccho Cardoso, Japaratuba, Maruim, Malhada dos Bois, Muribeca, Nossa Senhora das Dores, Pirambu, Rosário do Catete, Santo Amaro das Brotas e Siriri.

O curso d'água principal é o rio Japaratuba com uma extensão de 113,21 km, que tem sua nascente na Serra da Boa Vista na divisa entre os municípios de Feira Nova e Graccho Cardoso e deságua no Oceano Atlântico, no município de Pirambu.

A Bacia é constituída pelo rio Japaratuba, sendo seus principais afluentes, os rios Japaratuba Mirim, Lagartixo, Siriri, Cancelo e Riacho do Prata. Na nascente, por sofrer influência do clima semiárido, o rio é intermitente, à medida que avança em direção ao litoral, forma uma planície aluvial muito larga, onde se desenvolve o cultivo da cana-de-açúcar (SERGIPE, 2013).

A BH do rio Sergipe, situa-se na região nordeste do estado de Sergipe, possui uma área de 3.753,81km², envolvendo o estado da Bahia e no estado de Sergipe 3.693,87km², equivalentes a 17% do território estadual e abrange vinte e seis municípios, sendo que oito estão totalmente inseridos na Bacia: Laranjeiras, Malhador, Moita Bonita, Nossa Senhora Aparecida, Nossa Senhora do Socorro, Riachuelo, Santa Rosa de Lima e São Miguel do Aleixo e dezoito parcialmente: Aracajú, Areia Branca, Barra dos Coqueiros, Carira, Divina Pastora, Feira Nova, Frei Paulo, Graccho Cardoso, Itabaiana, Itaporanga d'Ajuda, Maruim, Nossa Senhora da Glória, Nossa Senhora das Dores, Ribeirópolis, Rosário do Catete, Santo Amaro das Brotas, São Cristóvão e Siriri.

O rio Sergipe tem sua nascente próximo a Serra Negra, no município de Pedro Alexandre na Bahia e foz no oceano Atlântico entre os municípios de Aracaju e Barra dos Coqueiros. O rio Sergipe tem uma extensão total de 206,55 km, seus principais afluentes são: Jacarecica, Cotinguiba, Sal e Poxim, na margem direita; Ganhamoroba, Parnamirim e Pomonga, na margem esquerda (SEMARH, 2013).

O Rio Sergipe nasce na região do Semiárido, atravessa o Agreste (região de transição entre o semiárido e a mata), a Mata Atlântica e deságua no Oceano Atlântico, estando o seu curso inferior em ecossistemas associadas à Mata Atlântica, como as restingas, dunas, manguezais, apicuns e praias.

A BH do rio Vaza-Barris é uma das mais importante para o processo de modelagem do carste em Sergipe. O seu rio principal atravessa, em Sergipe, parte expressiva dos

alforamentos de rochas carbonáticas nos municípios de Pinhão, São Domingos, Macambira e Campo do Brito, entalhando o relevo desses municípios (figura 3.20).

Figura 3.20 – Trecho meandrante do rio Vaza-Barris no município de São Domingos.



Crédito: Heleno dos Santos Macedo, 2016.

O rio Vaza Barris nasce no município de Uauá, no estado da Bahia e deságua no Oceano Atlântico, no estado de Sergipe. Seu comprimento total é de 330Km, dos quais apenas 152 km estão no Estado de Sergipe.

A área total da bacia hidrográfica é de 17.000 km², sendo apenas 15%, ou seja, 2.559 km² localiza-se no estado de Sergipe. Apesar de sua significativa área hidrográfica, a descarga na Bahia é intermitente e é apenas no Estado de Sergipe que o Vaza Barris se torna um rio perene. Em Sergipe a bacia hidrográfica ocupa terras de 14 municípios: Carira, Pinhão, Simão Dias, Pedra Mole, Frei Paulo, São Domingos, Macambira, Campo do Brito, Itabaiana, Lagarto, Areia Branca, Itaporanga D'Ajuda, São Cristóvão e Aracaju.

A Bacia Hidrográfica do rio Piauí possui uma área de 4.175 km² considerando a área do estado da Bahia (fronteira com Sergipe) e no estado de Sergipe, equivale a 19% do território estadual ocupando uma área de 3.953,42 km² e abrange quinze municípios, onde cinco estão totalmente inseridos na bacia: Arauá, Boquim, Pedrinhas, Salgado, e Santa Luzia do Itanhy e, dez parcialmente: Simão Dias, Tobias Barreto, Poço Verde, Riachão do Dantas, Lagarto, Indiaroba, Itaporanga da Ajuda, Umbaúba, Estância, e Itabaianinha.

O curso d'água principal é o rio Piauí, com uma extensão total de 166,93 km e nascente no estado da Bahia (fronteira com Sergipe) na serra de Palmares, entre os municípios de Riachão do Dantas e Simão Dias, desembocando no estuário de Mangue Seco, antes de atingir o oceano Atlântico. O Rio Piauí corta o estado de Sergipe com uma extensão de 150 km no sentido Oeste-Leste e seus principais afluentes são os rios: Piauitinga, Fundo, Quebradas, Guararema, Arauá atravessando a região do semiárido, agreste e litoral.

As águas subterrâneas dos municípios que contém as paisagens do carste de Sergipe são dos tipos cárstico, cárstico/fissural, fissural, fissural muito fraturado e granular. Além disso existem áreas de Aquiclude na faixa que compreende os municípios de São Cristóvão e Nossa Senhora do Socorro. Esses tipos de aquíferos encontram-se nas unidades Calumbi, Complexo Itabaiana/Simão Dias, Granitóides indiscriminados, Olhos D'água, Tacaratu, Taquari-Marum e Frei Paulo (figuras 3.21 e 3.22).

Distingue-se quatro domínios hidrogeológicos: Metassedimentos/Metavulcanitos, Grupo Estância, Metacarbonatos, Cristalino, Formações Superficiais e bacias sedimentares (CPRM 2005).

Segundo Bomfim *et al.* (2002), o domínio hidrogeológico Grupo Estância, envolve os sedimentos essencialmente arenosos da unidade geológica homônima, e que tem como características fundamentais um intenso fraturamento, litificação acentuada e forte compactação. Essas características lhe conferem além do comportamento de aquífero granular com porosidade primária baixa, um comportamento fissural acentuado (porosidade secundária de fendas e fraturas), motivo pelo qual prefere-se enquadrá-lo com mais propriedade como aquífero do tipo granular e “misto”, com baixo a médio potencial hidrogeológico.

Essa condição de reservatório hídrico subterrâneo, não se dá de maneira homogênea ao longo de toda a área de ocorrência. Ao contrário, são feições localizadas, conferindo elevada heterogeneidade e anisotropia ao sistema aquífero. A água, no geral, é do tipo carbonatada, com dureza acima do limite tolerado (BOMFIM *et al.*, 2002).

Os Metacarbonatos constituem um sistema aquífero desenvolvido em terrenos de rochas calcárias, calcárias magnesianas e dolomíticas, que tem como característica principal, a constante presença de formas de dissolução cárstica (dissolução química de rochas calcárias), formando cavernas, sumidouros, dolinas e outras feições erosivas típicas desses tipos de rochas (figura 3.23).

Figura 3.21 – Tipos e unidades do aquíferos do carste Bacia Sergipe.

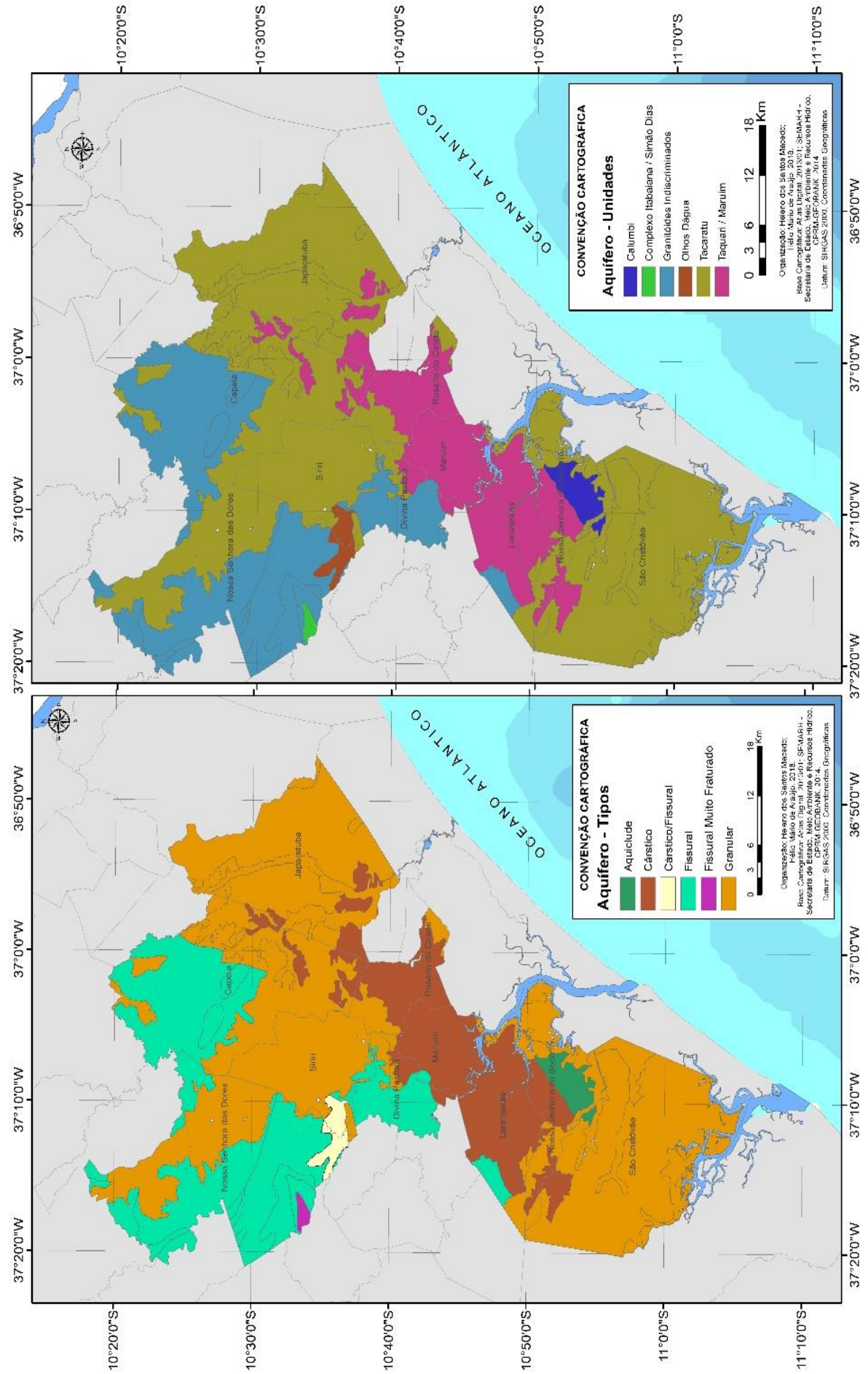
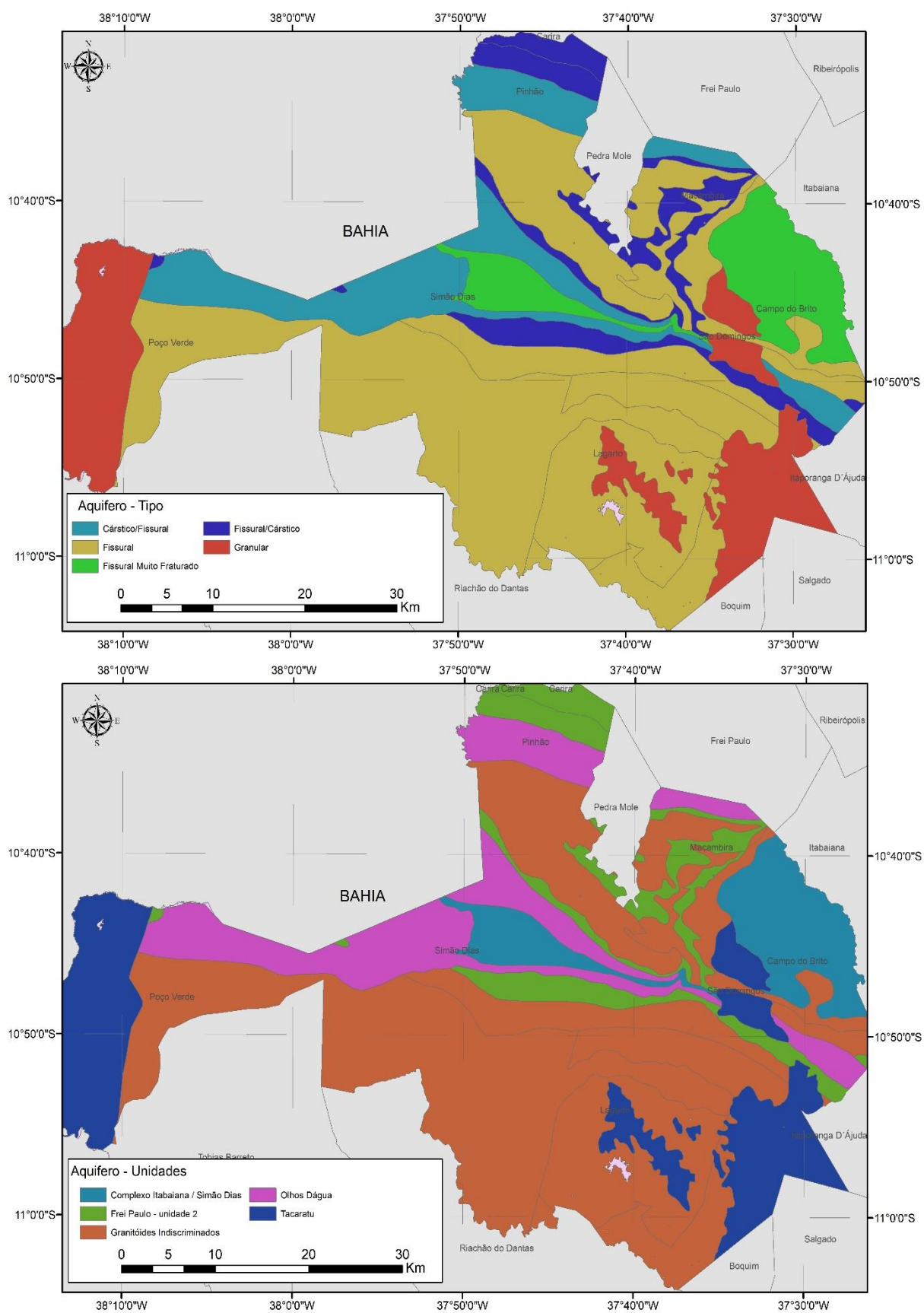


Figura 3.22 – Tipos e unidades do aquíferos do carste Olhos D'Água/Frei Paulo.



Organização: Heleno dos Santos Macedo, 2018.

Figura 3.23 – Conduto preenchido com águas do aquífero cárstico na Gruta da Fumaça em Lagarto.



Crédito Rafael Moreira, 2016.

Fraturas e outras superfícies de descontinuidade, alargadas por processos de dissolução pela água propiciam ao sistema porosidade e permeabilidade secundária, que permitem acumulação de água em volumes consideráveis. Infelizmente, essa condição de reservatório hídrico subterrâneo, não se dá de maneira homogênea ao longo de toda a área de ocorrência. Ao contrário, são feições localizadas, que confere elevada heterogeneidade e anisotropia ao sistema aquífero. A água, no geral, é do tipo carbonatada, com dureza acima do limite tolerado.

As Bacias Sedimentares são constituídas por rochas sedimentares bastante diversificadas, e representam os mais importantes reservatórios de água subterrânea, formando o aquífero do tipo granular. Em termos hidrogeológicos, estas bacias têm alto potencial, em decorrência da grande espessura de sedimentos e da alta permeabilidade de suas litologias, que permite a exploração de vazões significativas. Em regiões semiáridas, a perfuração de poços

profundos nestas áreas, com expectativas de grandes vazões, pode ser a alternativa para viabilizar o abastecimento de água das comunidades assentadas tanto no seu interior quanto no seu entorno (BOMFIM *et al.*, 2002).

Os Metassedimentos/Metavulcanitos e Cristalino tem comportamento de aquífero fissural. Como basicamente não existe uma porosidade primária nesse tipo de rocha, a ocorrência da água subterrânea é condicionada por uma porosidade secundária representada por fraturas e fendas, que se traduz por reservatórios aleatórios, descontínuos e de pequena extensão (BOMFIM *et al.*, 2002).

Dentro deste contexto, em geral, as vazões produzidas por poços são pequenas e a água, em função da falta de circulação, dos efeitos do clima semiárido e do tipo de rocha, é, na maior parte das vezes, salinizada. Essas condições definem um potencial hidrogeológico baixo para as rochas cristalinas sem, no entanto, diminuir sua importância como alternativa de abastecimento nos casos de pequenas comunidades ou como reserva estratégica em períodos prolongados de estiagem.

As Formações Superficiais Cenozóicas, são constituídas por pacotes de rochas sedimentares que recobrem as rochas mais antigas das Bacias Sedimentares, da Faixa de Dobramentos Sergipana e do Embasamento Gnáissico. Em termos hidrogeológicos, tem um comportamento de aquífero granular, caracterizado por possuir uma porosidade primária, e nos terrenos arenosos uma elevada permeabilidade, lhe conferindo, no geral, excelentes condições de armazenamento e fornecimento d'água.

Nas áreas dos municípios este domínio está representado pelo Grupo Barreiras e por depósitos aluvionares e coluvionares arenosos, que a depender da espessura e da razão areia/argila das suas litologias, pode produzir vazões significativas. Em grande parte dos casos, poços tubulares perfurados neste domínio, vão captar água do aquífero subjacente

3.6 Cobertura Vegetal e Solos nas áreas cársticas de Sergipe

a) Cobertura Vegetal

A distribuição das espécies vegetais no carste sergipano reflete as condições do meio, além de competir com outras espécies e com determinados componentes das faunas. Dois fatores interferem diretamente a distribuição da cobertura vegetal sobre essas unidades da paisagem: o clima e o solo. A influência do clima se refere a quantidade e distribuição das chuvas, à insolação, à temperatura e a umidade do ar. O Solo, caracteriza-se pelo grau de

fertilidade, pesa espessura, pela capacidade de retenção da água e pela presença de elementos minerais e orgânicos.

A cobertura vegetal primitiva do carste sergipano era constituída por florestas e cerrados, nas proximidades da faixa litorânea restingas e mangues. Ao longo do tempo, vem se registrando o desaparecimento progressivo de espécies nativas proporcionando, sobretudo, pelas incessantes queimadas, realizadas para limpar terrenos destinados a cultivo e pastos, ou pela derrubada para aproveitamento da madeira para construção civil, na produção de carvão vegetal para fornos de cerâmica, olarias e padarias e, em menor escala, para construção de cercas (figura 3.24).

Figura 3.24 – Antiga área coberta pelo cerrado desmatada para uso como pastagem em Macambira.

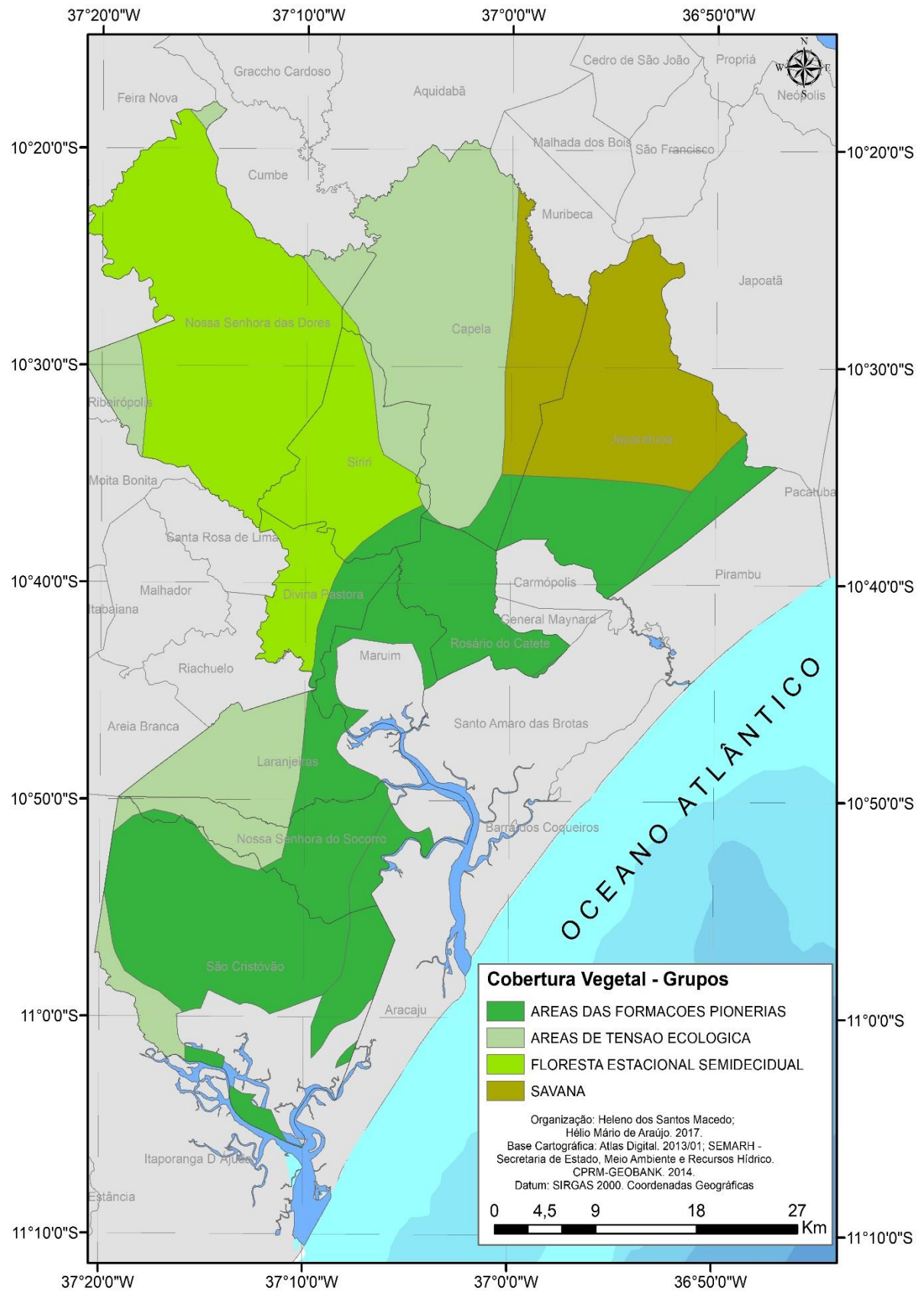


Crédito: Heleno dos Santos Macedo.

No carste Olhos D'Água/Frei Paulo encontramos os tipos Arbórea aberta, Estepe-floresta estacional, Savana (cerrado), Estepe floresta estacional e Vegetação secundária. Já no carste da Bacia Sergipe encontram-se as coberturas de áreas das formações pioneiras, áreas de tensão ecológica (contatos entre tipos de vegetação), Floresta estacional semidecidual e o Cerrado (figuras 3.25 e 3.26).

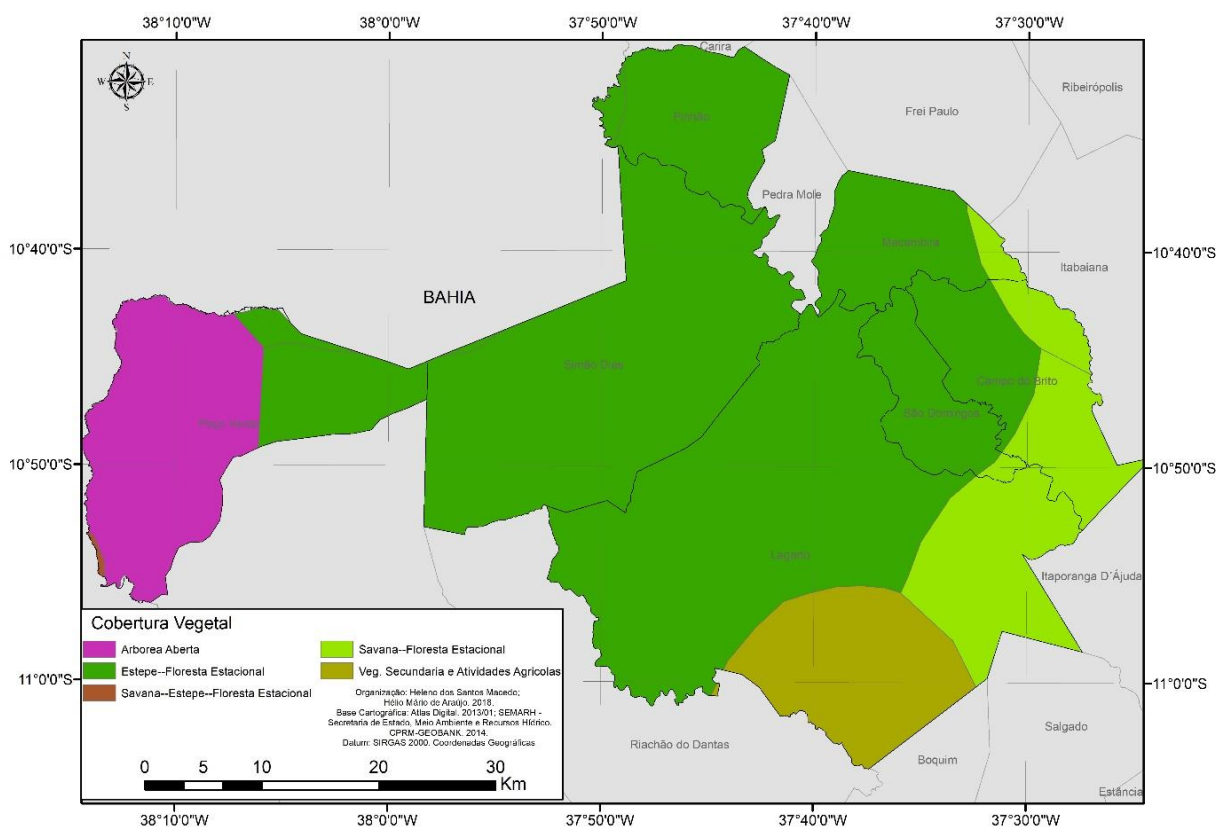
As Formações Pioneiras, como por exemplo a Mata Atlântica, ocorrem em áreas da Formação Barreiras, como as perenifólias em função das características climáticas, cuja precipitação é sempre maior que a evaporação.

Figura 3.25 – Tipo de Cobertura vegetal sobre o carste Bacia Sergipe.



Organização: Heleno dos Santos Macedo, 2018.

Figura 3.26 – Tipo de Cobertura vegetal sobre o carste Olhos D' Água/Frei Paulo.



Organização: Heleno dos Santos Macedo, 2018.

Devido ao fato da precipitação anual ir diminuindo de leste para oeste, a composição florística vai sendo substituída por uma vegetação mais subperenifólia e depois caducifólia. No estado de Sergipe está restrita a pequenas reservas ou localizadas em áreas de difícil acesso (figura 3.27). Ela tem sido paulatinamente substituída por espécies da Mata Secundária, caracterizada por uma vegetação adaptada a se desenvolver em solos anteriormente ocupados pela floresta nativa, a exemplo da umbaúba, predecessora de matas.

Savana ou Cerrado se caracteriza pela escleromorfia foliar, falso xeromorfismo e pela suberificação caulinar, podendo haver dois tipos de padrões, a depender dos componentes florísticos: o Cerradão, no qual prevalece o porte arbóreo e o Cerrado, prevalecendo o porte herbáceo e/ou rasteiro, podendo ocorrer espécies isoladas de porte arbóreo.

De acordo com Ab'Sáber (2003), o domínio dos cerrados possui drenagens perenes em cursos d'água, em função do padrão da tropicalidade regional com alternância de estações chuvosas com secas.

Atualmente a maior parte das áreas de cerrado encontram-se degradadas por diferentes tipos de ações antrópicas, mas ainda presentes em certos interflúvios e vertentes suaves. O

cerrado é considerado uma vegetação intermediária entre a Floresta Atlântica e a Caatinga, sendo que, em Sergipe, é encontrado na região dos Tabuleiros (FRANCO, 1983).

Figura 3.27 – Resquício de Mata Atlântica na Reserva Mata do Junco em Capela.



Organização: Heleno dos Santos Macedo, 2018.

No passado abrangeu vários municípios, mas, na atualidade, é difícil sua identificação em função da existência apenas de pequenas manchas esparsas. Na área em estudo, encontram-se manchas de Cerrado nos municípios de Campo do Brito, São Domingos, Macambira, Lagarto, São Cristóvão e Japaratuba.

Dentre as formações mistas estacionais citadas por Franco (1983) merece destaque, nos municípios de Nossa Senhora das Dores, Simão Dias e Lagarto e entorno, as Associações Subcaducifólias. Estas são encontradas à medida que a Floresta arbórea aberta vai adentrando para oeste, com composição vegetal com número crescente de plantas caducifólias. Esta vegetação é típica em clima de transição entre o litoral e o sertão, cuja média de precipitação

encontra-se em torno de 900mm, ocorrendo em solos classificados como Argissolos e Planossolos.

Corroborando com Franco (1983), nos municípios de Simão Dias, Poço Verde, Pinhão, Macambira, ocorrem as Associações Caducifólias mistas com a Caatinga, na qual foram encontradas nas atividades de campo as seguintes espécies: aroeira – *Astronium* sp, mandacaru – *Cereus jamacaru*, jurema – *Mimosa nigra*, cajazeiras – *Spondias* sp, alecrim – *Lantan* sp, dentre outras (figura 3.28).

Figura 3.28 - Associações Caducifólias mistas com a Caatinga em Simão Dias.



Crédito: Heleno dos Santos Macedo, 2016.

Este tipo de associação ocorre em parte em solos do tipo Litossolo, Cambissolo, Planossolo, dentre outros, sendo que a precipitação anual se encontra em torno de 850mm. Na Caatinga a evaporação é superior a precipitação, trazendo como consequência o desenvolvimento de uma vegetação xeromorfa, com espécies adaptadas a este tipo climático.

As folhas geralmente são substituídas por espinhos, os caules são verdes, favorecendo a fotossíntese e produção de substâncias nutritivas em toda planta. Caules e raízes apresentam reserva de água, abastecendo o vegetal mesmo nos períodos prolongados de seca. É denominada de Hipoxerófila quando a vegetação se localiza em regiões com sete meses secos, e Hiperxerófila quando apresenta oito ou mais meses secos. São representantes típicos da Caatinga o mandacaru, *Cereus jamacaru*, e o facheiro, *Pilosocereus piuiensis*.

b) Solos

O solo é o único ambiente onde se encontram reunidos, em associação íntima, quatro elementos: litosfera – domínio das rochas; hidrosfera – domínio das águas; atmosfera – domínio do ar; e biosfera – domínio da vida (GUERRA & GUERRA, 1997). É, portanto, um complexo vivo elaborado na superfície de contato da crosta terrestre, com os domínios supracitados.

As características geológicas do terreno, sua litologia e estrutura, influenciam as características pedológicas. No entanto, muitas vezes sobre o mesmo embasamento geológico se encontram diferentes tipos de solo. Além da natureza do material originário, outros fatores exercem influência sobre a formação do solo, como o clima, os organismos vivos, a topografia e o período de tempo em que os materiais originários ficaram sujeitos à formação do solo.

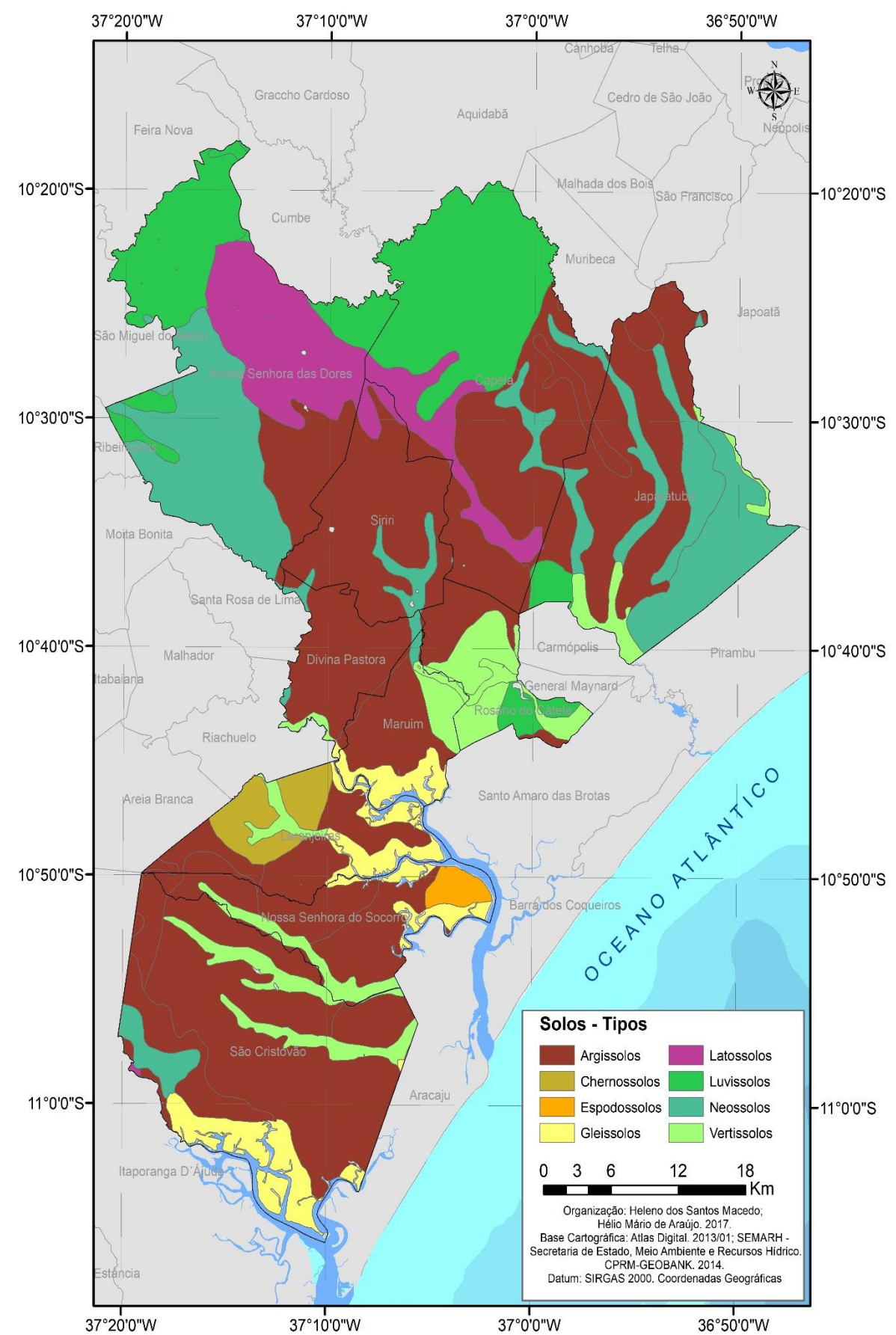
A distribuição espacial dos solos está intimamente relacionada com os fatores envolvidos no processo de pedogênese. Desta maneira, os solos regionais estão associados às condições geológicas, geomorfológicas e climáticas. Por outro lado, a vegetação natural reflete as condições físicas, químicas e biológicas existentes nos solos.

De acordo com o mapeamento da EMBRAPA (1975) e correlacionando com a nova classificação dos solos (EMBRAPA, 2018), foram identificadas dez classes de solo: Argissolos, Chernossolos, Espodossolos, Gleissolos, Latossolos, Neossolos, Vertissolos, Cambissolos, Luvissolos e Planossolos (figuras 3.29 e 3.30).

Os Argissolos compreendem solos constituídos por material mineral, que tem como características diferenciais a argila de atividade baixa e horizonte B textural (Bt), imediatamente abaixo de qualquer tipo de horizonte superficial (EMBRAPA, 2018). Apresentam profundidade variável, desde forte a imperfeitamente drenado, de cores avermelhadas ou amareladas. A textura varia de arenosa a argilosa no horizonte A e de média a muito argilosa no horizonte Bt, sendo considerados de forte a moderadamente ácidos.

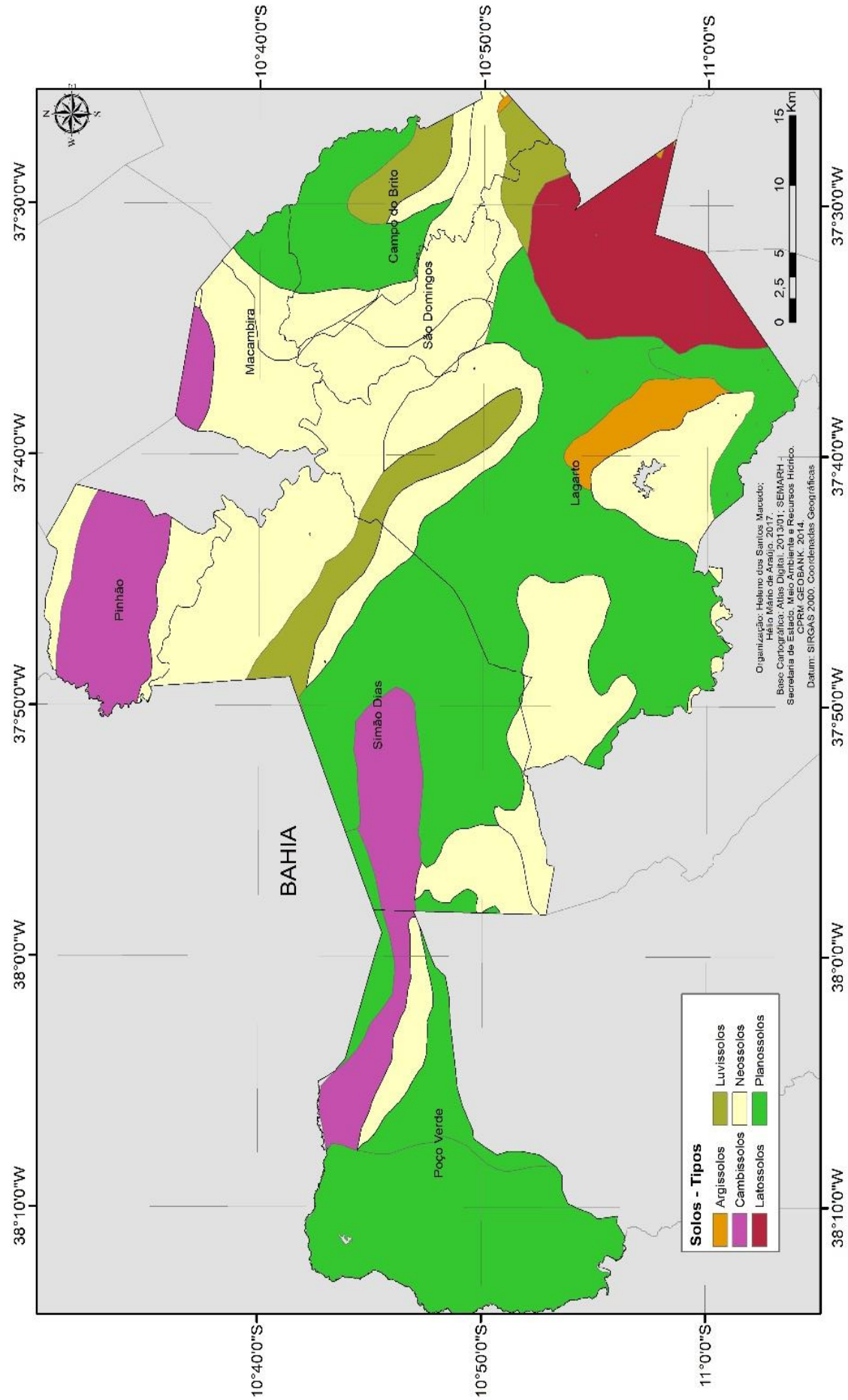
Na área em estudo este tipo de solo recobre os Tabuleiros Costeiros, cujo relevo é suavemente ondulado, apresentando materiais areno-argilosos e argilo-arenosos decorrentes do Terciário e dos Sedimentos da Formação Barreiras. Os Argissolos Vermelho-Amarelo apresentam maior eficiência quando sobre o mesmo são estabelecidos cultivos de espécies perenes que não necessitam de revolvimento anual, pois possuem de baixa a muito baixa fertilidade natural, apresentando uma superfície muito arenosa. Geralmente têm sido cultivados com cana de açúcar e, secundariamente, com fruticultura e cultivos de subsistência.

Figura 3.29 – Tipo de solos sobre o carste Bacia Sergipe.



Organização: Heleno dos Santos Macedo, 2018.

Figura 3.30 – Tipo de Solos sobre o carste Olhos D’Água/Frei Paulo.



Os Espodossolos são constituídos por material mineral com horizonte B espódico subjacente a horizonte eluvial E (abico ou não), ou subjacente a horizonte A, que pode ser de qualquer tipo, ou ainda, subjacente a horizonte hístico com menos de 40cm de espessura (EMBRAPA, 2018). Possuem profundidade variável, com textura predominantemente arenosa, drenagem variável em função da relação estreita com a profundidade, grau de desenvolvimento, endurecimento ou cimentação do horizonte B e a drenagem do solo.

São considerados baixa fertilidade, moderados a fortemente ácidos, normalmente com saturação por bases baixa, sendo peculiares altos teores de alumínio extraível, sendo provenientes de materiais arenoquartzozos, típicos da planície costeira, em áreas de umidade elevada, cujo tipo de relevo é plano ou suavemente ondulado, abrangendo uma maior diversidade de tipos vegetacionais.

Mesmo apresentando boas condições de drenagem, a baixa fertilidade natural e a limitada capacidade de armazenamento hídrico, tornam estes solos de baixo a muito baixo potencial agrícola, podendo, no entanto, serem utilizados com culturas adaptadas, a exemplo do coco, mangaba e caju, presentes na Planície Costeira.

Os Cambissolos são constituídos por material mineral, com horizonte B incipiente. Apresentam heterogeneidade do material de origem sofrendo forte influência das formas do relevo e das condições climáticas (EMBRAPA, 2018). Em função destas características este tipo de solo pode apresentar variações de fortemente a imperfeitamente mal drenado, de raso a profundo, de cor bruno ou bruno-amarelado até vermelho escuro. Na área em estudo estão relacionados a rochas da Faixa de Dobramentos Sergipana de idade Meso-Neoproterozóica, cujo clima tende a semiaridez, com vegetação primitiva típica da condição climática dominante.

Os Planossolos compreendem solos minerais imperfeitamente ou mal drenados, com horizonte superficial ou subsuperficial eluvial, de textura mais leve, que contrasta abruptamente com o horizonte B imediatamente subjacente (EMBRAPA, 2018). Os solos desta classe ocorrem preferencialmente em áreas de relevo plano ou suave ondulado, onde as condições ambientais e do próprio solo favorecem a vigência periódica anual de excesso de água, mesmo que de curta duração, especialmente em regiões sujeitas a estiagem prolongada, ainda que breve, e até mesmo sob condições de clima semiárido. Na região do entorno de Lagarto, Campo do Brito, Simão dias e Poço Verde este tipo de solo é muito utilizado no cultivo de hortaliças e produtos agrícolas como a batata-doce, feijão, quiabo, inhame, dentre outros (figura 3.31).

Figura 3.31 – Cultivo do feijão no Planossolos no povoado Caraíba em Poço Verde.



Crédito: Heleno dos Santos Macedo, 2016.

Os Latossolos apresentam estágio avançado de intemperização. Variam de fortemente a bem drenados, embora ocorram variedade que tem cores pálidas, de drenagem moderada ou até mesmo imperfeitamente drenados (EMBRAPA, 2018). São normalmente muito profundos, ácidos e com baixa saturação por bases, sendo originados a partir das mais diversas espécies de rochas, sob condições de clima e tipos de vegetação diversos.

Ocorrem em uma pequena faixa de transição entre o Tabuleiro e o Pediplano. Apresentam cor amarela, sendo de origem terciária, proveniente de sedimentos da Formação Barreiras. As limitações naturais estão relacionadas com a baixa fertilidade e baixo teor de umidade em climas mais secos, principalmente quando a argila é predominante, sendo necessário a prática da irrigação, com uso de fertilizantes e corretivos, visando uma utilização mais sustentável deste tipo de solo. O uso agrícola está relacionado com o plantio da cana-de-açúcar, fruticultura, cultivos de subsistência e pastagens.

Os Neossolos Litólicos são solos minerais, rasos, não hidromórficos e pedogeneticamente pouco evoluídos (EMBRAPA, 2018). Apresentam um horizonte superficial A ou O ausente diretamente sobre a rocha, ou sobre um horizonte C, ou mesmo sobre um horizonte B em início de formação. Como são solos que apresentam uma relação direta com o material que o originou, apresentam em sua constituição fragmentos ou pedaços de rochas e presença significativa de minerais primários de fácil intemperização, como cascalhos.

Estes solos apresentam várias restrições, pois além de serem rasos, possuem elevada pedregosidade, com substrato rochoso impermeável e consequente alta suscetibilidade a erosão. São muito utilizados com pastagens. Em função da saturação por bases e alumínio podem ser classificados também em Neossolo Litólico eutrófico e distrófico, cuja distribuição ocorre no entorno do Domo de Itabaiana e no município de Lagarto, em área de relevo ondulado.

Nas áreas das “serras residuais”, a exemplo da Serra da Miaba, é desenvolvido a partir do quartzito e calcário onde ocorrem as formações campestres. O aproveitamento agrícola é comprometido em função das limitações de ordem física (profundidade e pedregosidade), de ordem topográfica (relevo fortemente ondulado) e de ordem química (caráter distrófico).

Gleissolos são solos constituídos por material mineral com horizonte glei iniciando-se dentro dos primeiros 50 cm a partir da superfície do solo, ou a profundidade maior que 50 cm e menor ou igual a 150 cm desde que imediatamente abaixo de horizonte A ou E ou de horizonte hístico com espessura insuficiente para definir a classe dos Organossolos (EMBRAPA, 2018).

Não apresentam horizonte vértico em posição diagnóstica para Vertissolos ou textura exclusivamente areia ou areia franca em todos os horizontes até a profundidade de 150 cm a partir da superfície do solo ou até um contato lítico ou lítico fragmentário. Horizonte plânico, horizonte plíntico, horizonte concrecionário ou horizonte litoplíntico, se presentes, devem estar à profundidade maior que 200 cm a partir da superfície do solo (EMBRAPA, 2018). Encontram-se distribuídos sobre a classe geomorfológica superfície de rios em São Cristóvão, Maruim e Laranjeiras.

Vertissolos são solos constituídos por material mineral com horizonte vértico iniciando dentro de 100 cm a partir da superfície e relação textural insuficiente para caracterizar um horizonte B textural. Além disso, devem atender aos seguintes requisitos: teor de argila, após mistura e homogeneização do material de solo, nos 20 cm superficiais; fendas verticais no período seco com pelo menos 1 cm de largura, iniciando na superfície e atingindo, no mínimo, 50 cm de profundidade, exceto no caso de solos rasos, onde o limite mínimo é de 30 cm de profundidade; ausência de material com contato lítico ou lítico fragmentário, horizonte petrocálcico ou duripã dentro dos primeiros 30 cm a partir da superfície; em áreas irrigadas ou mal drenadas (sem fendas aparentes) e ausência de qualquer tipo de horizonte B diagnóstico acima do horizonte vértico. Solos típicos das áreas de planície fluvio-marinha (EMBRAPA, 2018).

Luvissolos são solos constituídos por material mineral, apresentando horizonte B textural com argila de atividade alta e saturação por bases alta na maior parte dos primeiros 100 cm do horizonte B, imediatamente abaixo de qualquer tipo de horizonte A (exceto A

chernozêmico) ou sob horizonte E, e satisfazendo ao seguinte requisito: Horizontes plântico, vértico e plânico, se presentes, não satisfazem os critérios para Plintossolos, Vertissolos e Planossolos, respectivamente, ou seja, não são coincidentes com a parte superficial do horizonte B textural (EMBRAPA, 2018). Ocupam pequenas faixas nos municípios de Lagarto, Simão Dias, Campos do Brito e São Domingos.



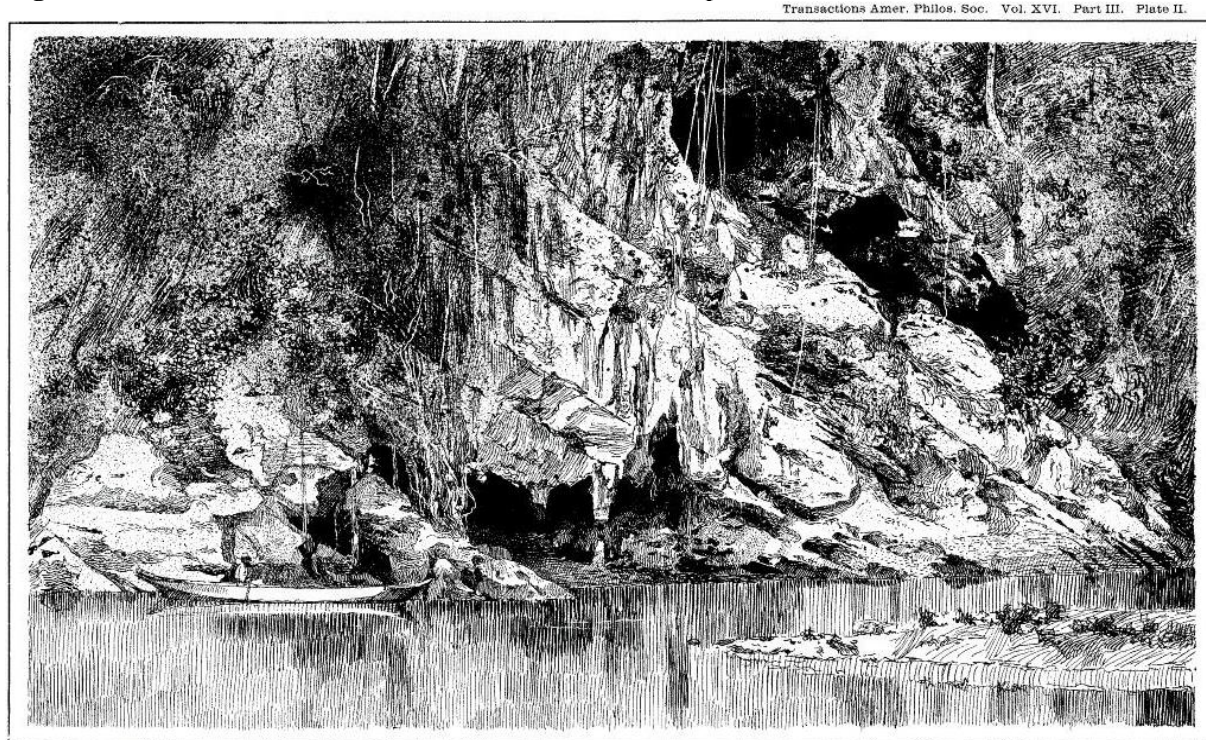
04. CARACTERIZAÇÃO DA MORFOLOGIA CÁRSTICA DE SERGIPE

4.1 Evolução da Carste Tradicional da Bacia Sergipe

O primeiro relato sobre feições cársticas em Sergipe remete ao Geólogo americano John C. Branner em 1890 no artigo *The Cretaceous and Tertiary Geology of the Sergipe-Alagoas Basin of Brazil* publicado na revista *American Philosophical Society*. O autor faz uma descrição dos processos evolutivos ocorridos a partir do Cretáceo sobre as faixas dos estados de Sergipe e Alagoas. Nesse artigo o autor faz uma breve descrição da caverna do urubu, na margem esquerda do Rio Sergipe (figura 4.1).

O carste tradicional Bacia Sergipe tem seu processo de evolução a partir da separação da pangeia, no Mesozóico, mais precisamente no Jurássico Inferior, há aproximadamente 180 milhões de anos (cento e oitenta milhões de anos). A medida que ocorria a separação entre a América do Sul e o continente africano, os carbonatos começaram a ser depositados na região, formando a Bacia Sedimentar de Sergipe.

Figura 4.1 - Caverna do Urubu em Divina Pastora descrita por Branner em 1890.



The Caverns of Urubu, Rio Sergipe.

Fonte: <http://www.jstor.org/stable/1005398>.

As feições cársticas da Bacia Sergipe não apresentam desenvolvimentos expressivos em suas dimensões, e na maioria dos casos, encontram-se em desenvolvimento, ou seja, os processos de carstificação são embrionários. As rochas carbonáticas na maior parcela da área encontra-se coberta por sedimentos da Formação Barreira, depositados no período Terciário. Esses sedimentos acabaram criando uma impermeabilização sobre as rochas carbonáticas impedindo o desenvolvimento de feições cársticas.

Outro fator importante sobre a incipiência na morfogênese desse carste, é o acentuado grau de porosidade primária das rochas. Os carbonatos dessa região são caracterizados como sendo calcilutitos, calcarenitos, que se formam sobre elevado grau de porosidade, permitindo que a água possa percolar facilmente por elas (figura 4.2).

Figura 4.2 – Porosidade primária acentuada nas rochas carbonáticas do Carste Bacia Sergipe.



Crédito: Heleno dos Santos Macedo, 2016.

Essa facilidade na percolação da água acaba contribuindo para reduzir os processos de dissolução, já que o tempo necessário para a corrosão do material pelo ácido carbônico acaba se tornando insuficiente ao transitar rapidamente pelo material.

Além disso, a ausência de reativação tectônica após o Mioceno, não permitiu a formação de porosidade secundária nas rochas carbonáticas na região dificultando o processo de percolação e corrosão do material ao longo do tempo.

Outro fator que marca essa evolução é o baixo gradiente do relevo. O relevo nessa faixa não perfaz mais de 60 metros em relação ao nível do mar, impedindo que haja um fluxo turbulento no processo de deslocamento das águas subterrâneas dentro das fraturas do material litológico. A medida que não ocorre turbulência dentro das fraturas buscando os pontos mais baixos do nível d'água, o fluido acaba deslocando-se de forma suave sem exercer fricção nas paredes dos condutos, não ocasionando a remoção de material de forma mais acelerada.

Uma outra característica importante desse processo de evolução é o teor de salubridade das águas subterrâneas próximos das áreas cársticas da Bacia Sergipe. Altos teores de sais acabam reduzindo os processos de corrosão química. Além disso, essa faixa do carste possui uma espessura reduzida dos solos, contribuindo assim, para uma produção incipiente de ácido carbônico a partir do CO₂ presente no solo.

As feições do exocarste Bacia Sergipe foram expostas na paisagem pelos processos denudacionais ocorridos a partir do Plioceno e acentuados no Pleistoceno e Holoceno. As feições cársticas da Bacia Sergipe podem ser classificadas como autogênicas e halogênicas ou seja, se desenvolveram a partir da ação das águas das chuvas e superficiais.

Neste sentido a evolução desse carste pode ser descrito nas seguintes etapas:

- a) Tem início no Jurássico Inferior a separação das placas da Sul-americana e Africana (Mesozoico). Os sedimentos que constitui a Bacia Sedimentar de Sergipe só começam a ser depositados no Cretáceo Inferior entre o Apatiano e Albiano. Esses depósitos foram realizados através de leques aluviais, deposição por deltas lacustres e em leques aluviais. Sobre o embasamento foram depositados folhelho betuminoso, conglomerados e brechas, siltitos e as primeiras rochas carbonáticas, como calcilutitos acastanhados, calcário avermelhado e dolomita;
- b) Na medida que as placas se afastavam, os carbonatos foram cobertos por matérias oriundos dos sistemas fluviais e deposição por delta;
- c) Os carbonatos da Formação Riachuelo começam a ser depositados no Albiano em plataforma rasa (Membro Maruim) deposição em talude (Membro Taquari) e depósitos por leques alúvio-deltaico;
- d) No Mesozóico Superior, os carbonatos da Formação Cotinguiba começam a ser depositados em talude e bacias oceânicas. Sobre os carbonatos da Formação Riachuelo são depositados os sedimentos do Membro Aracaju constituídos por folhelhos, siltitos e argilitos; posteriormente os calcilutitos foram depositados sobre o Membro Aracaju, depósitos em talude (Membro Sapucari);

- e) Sedimentos da Formação Calumbi, Marituba e Mosqueiro são depositados sobre as Formações Riachuelo e Cotinguiba entre o Cretáceo Superior e o Terciário (Paleógeno);
- f) Reativações tectônicas entre Oligoceno – Plioceno começam a expor as rochas carbonáticas da Formação Riachuelo e Cotinguiba; esse material começa a passar pelos processos de intemperismo, e parte desses, passa a ser coberta por vegetação;
- g) Com o fim das reativações tectônicas a partir do Pleistoceno Inferior, as rochas carbonáticas foram cobertas por vegetação (provavelmente florestas tropicais). As mudanças climáticas oriundas das glaciações, vão alternado os processos de denudação, com períodos mais úmidos e outros mais secos. Nos períodos mais úmidos, a drenagem superficial era o principal responsável pelos processos de transformação da paisagem. Nos períodos secos, com a redução dos níveis freáticos, abatimentos começaram a formar as cavidades;
- h) Durante os períodos mais úmidos o processo de carstificação foi acentuado. A partir da observação do processo de denudação em condutos e formação de espeleotemas em cavidades dessa área, pode-se afirmar que as primeiras dolinas e cavernas começaram a ser formadas no Pleistoceno Inferior a 2,58 milhões de anos;
- i) Os eventos de Transgressão e Regressão ocorridos a partir do Pleistoceno Médio narrados por Bittencourt *et al.* (1983) entalham os carbonatos e os sedimentos da Formação Barreiras;
- j) O processo de modelagem foi acentuado entre a intercalação das fases de transgressão e regressão pelas águas subterrâneas que oscilavam entre os períodos de maior e menor volume de água dos sistemas fluviais. Durante os períodos de transgressão o exocárstico era moldado. O endocarste, durante os períodos de regressão permitia a ação das águas subterrâneas no processo de entalhamento;
- k) No Pleistoceno Superior as cavidades e dolinas começam a assumir as formas atuais; cavernas, dolinas de abatimento e de dissolução já ocupam a paisagem do carste Bacia Sergipe;
- l) Lapiás, vales cegos surgiram após a Última Transgressão no evento VI (5.100 AP). Isso pode ser afirmado devido a incipiência das feições, demonstrando que nos encontramos em uma fase de regressão, conseqüentemente de menor umidade.

Portanto, as feições do exocarste continuam passando por etapas denudacionais, porém, nos últimos séculos, com a ação humana, vem acelerando esses processos, ou mesmo, destruindo-as em prol da prática de atividades socioeconômicas, urbanização, ruralização, atividades turísticas, entre outras.

4.2 Feições Exocársticas da Bacia Sergipe

O exocarste Bacia Sergipe é constituído por dolinas de abatimento e dissolução; lapiás de escoamento Superficial (*RinnenKarren*) e mesa de lapiás (*Karrentische*); vales cegos; sumidouros e ressurgências.

4.2.1 Dolinas

O carste da Bacia Sergipe possui aproximadamente 20 dolinas (tabela 4.1), das quais sete são de abatimento e/ou colapso e 13 são dolinas de dissolução. As dolinas dessa área são de diâmetro pequeno (entre 2 a 8 metros) e consideradas rasas (dolinas de no máximo 5 a 6 metros de profundidade). Esse número representa as feições que foram identificadas através de trabalho de campo e sensoriamento remoto.

Tabela 4.1 – Localização das dolinas no Carste Bacia Sergipe

Coordenadas - Dolinas				
Nº	Município	Tipo da Dolina	Longitude	Latitude
01	Divina Pastora	Dissolução	704465	8880420
02	Maruim	Dissolução	707883	8814174
03	Maruim	Dissolução	707797	8814140
04	Divina Pastora	Abatimento	703572	8817772
05	Divina Pastora	Dissolução	703529	8817476
06	Laranjeiras	Dissolução	700669	8812971
07	Laranjeiras	Dissolução	701495	8813203
08	N. S. do Socorro	Abatimento	700121	8799154
09	Divina Pastora	Abatimento	704898	8804167
10	Laranjeiras	Dissolução	700252	8804051
11	Laranjeiras	Abatimento	700438	8803999
12	Divina Pastora	Dissolução	704852	8803722
13	Laranjeiras	Dissolução	700662	8812970
14	Laranjeiras	Abatimento	703589	8817744
15	Laranjeiras	Dissolução	703998	8817786
16	Maruim	Dissolução	707863	8814266
17	Laranjeiras	Dissolução	707533	8814319
18	Maruim	Dissolução	707810	8814325
19	Maruim	Dissolução	707795	8814387
20	Laranjeiras	Abatimento	707571	8815000

Elaboração: Heleno dos Santos Macedo e Luana Pereira Lima, 2018.

Acredita-se que haja um número maior de dolinas, porém, preenchidas por sedimentos do Barreiras não mais visíveis em superfície, ou mesmo, suprimidas da paisagem servindo para descarte de resíduos sólidos e restos de animais, principalmente nas áreas onde o uso do solo tem como principal atividade a prática da pecuária.

Parte dessas dolinas estão preenchidas por sedimentos oriundos de matérias adjacentes, trazidos por processos de escoamento. Em algumas dolinas encontram-se pequenas ressurgências, ou mesmo, afloramentos do lençol freático.

O município de Laranjeiras possui o maior número de dolinas, um total de 09, sendo 06 dolinas de dissolução e 03 de abatimento. Os municípios de Maruim e Divina Pastora possuem ambos cinco dolinas. Duas dolinas de abatimento e três de dissolução em Divina Pastora e, cinco dolinas de dissolução em Maruim (figuras 4.3 e 4.4).

Figura 4.3 – Dolina de dissolução em Divina Pastora.



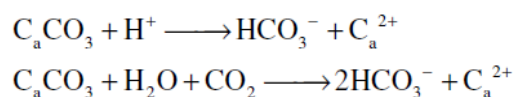
Crédito: Heleno dos Santos Macedo, 2018.

Figura 4.4 – Dolina de colapso em Divina Pastora.

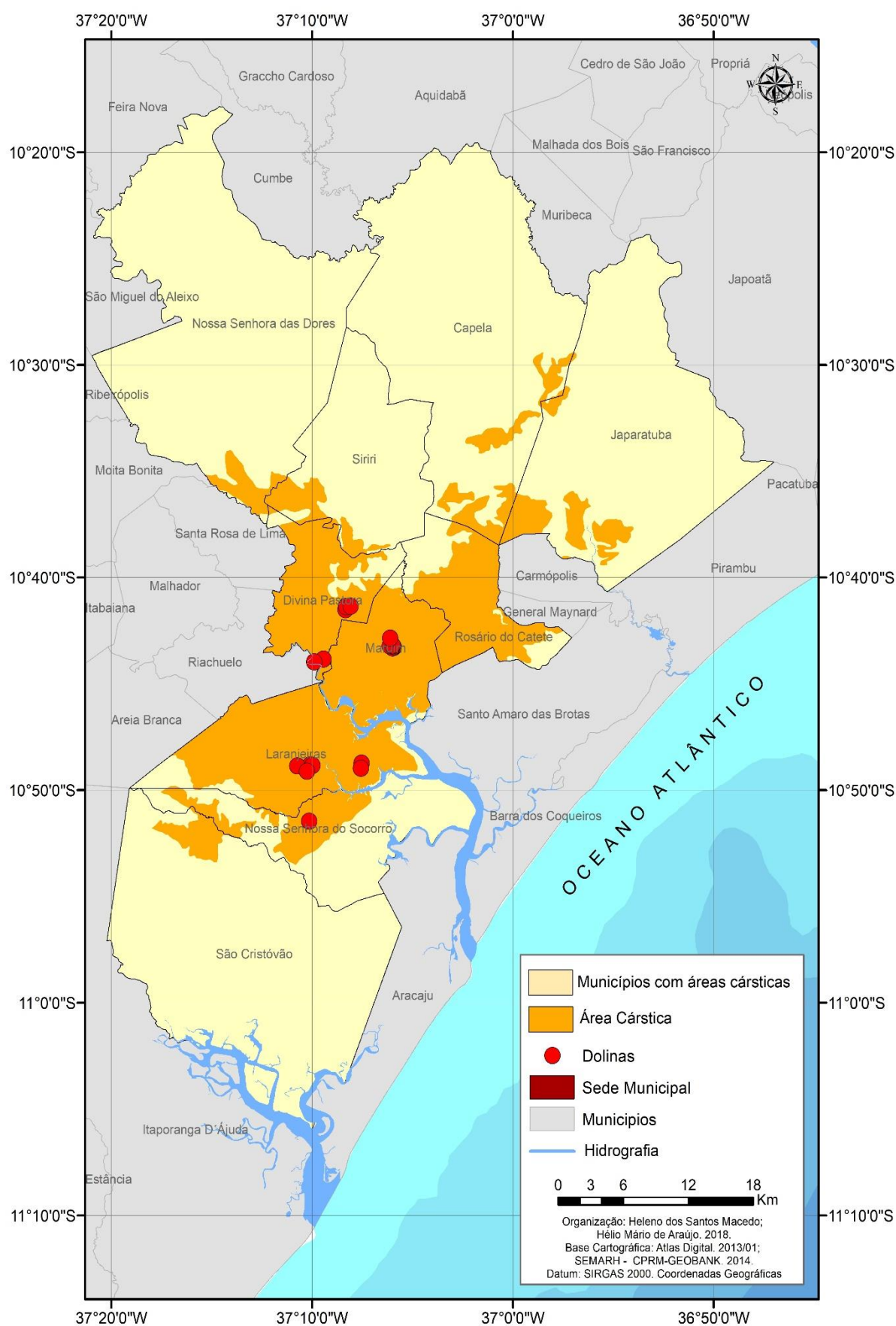


Crédito: Heleno dos Santos Macedo, 2018.

O tipo mais comum de dolina no carste Bacia Sergipe é de dissolução (figura 4.5). As dolinas de dissolução surgem a partir de processos químicos que dissolvem a rocha carbonática ao longo do tempo. A reação química que atua sobre os calcários pode ser expressa por:



A dissolução da superfície continua enquanto a água em contato com a rocha permanece insaturado. O processo de dissolução ocorre na superfície, no solo fino ou no próprio leito de rocha, onde a água é levemente ácida. A rocha é dissolvida em locais onde o fluxo de água é mais rápido e turbulento. Mistura de águas com diferentes propriedades geoquímicas podem aumentar o poder de dissolução de rochas carbonatadas.

Figura 4.5 – Dolinas na Área Cárstica Tradicional Bacia Sergipe

Elaboração: Heleno dos Santos Macedo, 2018.

As dolinas de abatimento são em menor número nessa paisagem cárstica, mas possuem alguns processos semelhantes em relação a sua morfogênese com as dolinas de dissolução, porém, a ação mecânica tem uma ação primordial para sua formação. A medida que os processos de dissolução vão ocorrendo sobre a rocha em superfície, os condutos formados em sub-superfície, começam a alargar devido à ação dos fluxos hídricos internos.

Enquanto esses condutos são preenchidos pelas águas do lençol freático, eles sustentam o material adjacente depositado em superfície. Conforme o nível do lençol vai rebaixando, os condutos vão perdendo o seu preenchimento, ficando totalmente vazio. Durante esse processo, parte desse material pode colapsar, fazendo com que esse conduto aumente de diâmetro.

Conforme isso vai ocorrendo em sub-superfície, o material rochoso em superfície, continua recebendo materiais pelos processos de transporte e deposição, sobrecarregando a área de deposição. Quando as rochas em sub-superfície não resistem ao peso do material sobrejacente, acaba ocorrendo o colapso dessa faixa do material litológico, levando a exposição em superfície desses condutos que foram trabalhados pelos processos de corrosão ao longo de milhares de anos.

Algumas dolinas nos municípios de Laranjeiras e Maruim possuem características de sumidouros ou ressurgências (figura 4.6). Esse tipo de dolina acaba sendo utilizado como tanque para a dessedentação animal. Na maioria dos casos, os agricultores desconhecem a relação de uma dolina com o lençol freático. Em determinadas propriedades os efluentes são descartados dentro das dolinas do tipo sumidouro.

Figura 4.6 – Dolina com ressurgência no município de Laranjeiras



Crédito: Heleno dos Santos Macedo, 2018.

As dolinas nesses municípios possuem características semelhantes à de outras regiões cársticas do Brasil e do mundo. No carste da Bacia Sergipe encontram-se dolinas dos tipos bacia, funil, colmatada (figura 4.7). A maior parte dessas dolinas (dezesseis) desenvolve-se sobre a Formação Riachuelo. Os carbonatos dessa formação são caracterizados como calcarenitos e calcilutitos oncolíticos e oolíticos creme; dolomitos creme a castanho; recifes algálicos isolados com níveis subordinados de arenito, siltitos e folhelho.

Figura 4.7 – Dolina de dissolução do tipo bacia em Laranjeiras.



Crédito: Heleno dos Santos Macedo, 2018.

Essa composição litológica do material adjacente, interfere no processo de dissolução dos carbonatos que se encontram, em alguns casos, intercalados entre siltitos e folhelho. Essa característica, em consonância com o elevado grau de porosidade das rochas carbonáticas, acaba interferindo na formação de mais dolinas, pois os processos em superfície de dissolução são atenuados pelas matérias que se encontram intercalados aos carbonatos da litologia superficial.

Já os processos em sub-superfície são controlados principalmente pelo trabalho das águas subterrâneas, que tem o papel de transportar a água mais ácida para dentro dos condutos e exercer o papel de agente de corrosão. Porém, a água subterrânea nessas áreas cársticas

apresentam teor significativo de sais, reduzindo, em parte, a ação efetiva do ácido carbônico dentro da rocha.

Em relação a topografia das áreas com recorrência de dolinas, o patamar altimétricos encontra-se entre 6 a 70 metros de altitude. As dolinas de subsidência são as que se encontram nos patamares de menor altitude (10 a 30 metros) e as dolinas de abatimento encontram-se entre os patamares de 30 a 70 metros.

O posicionamento para compreender tal característica das dolinas de abatimento em níveis topográficos mais elevadas do que as outras, deve-se as reativações tectônicas ocorridas no Pleistoceno Superior que soergueu esse material provocando uma linha preferencial para os processos de carstificação e, conseqüentemente, uma tendência para o desenvolvimento de um sistema de drenagem mais eficiente que lapidou os condutos desse pacote geológico, permitindo o colapso após o rebaixamento do nível do lençol freático.

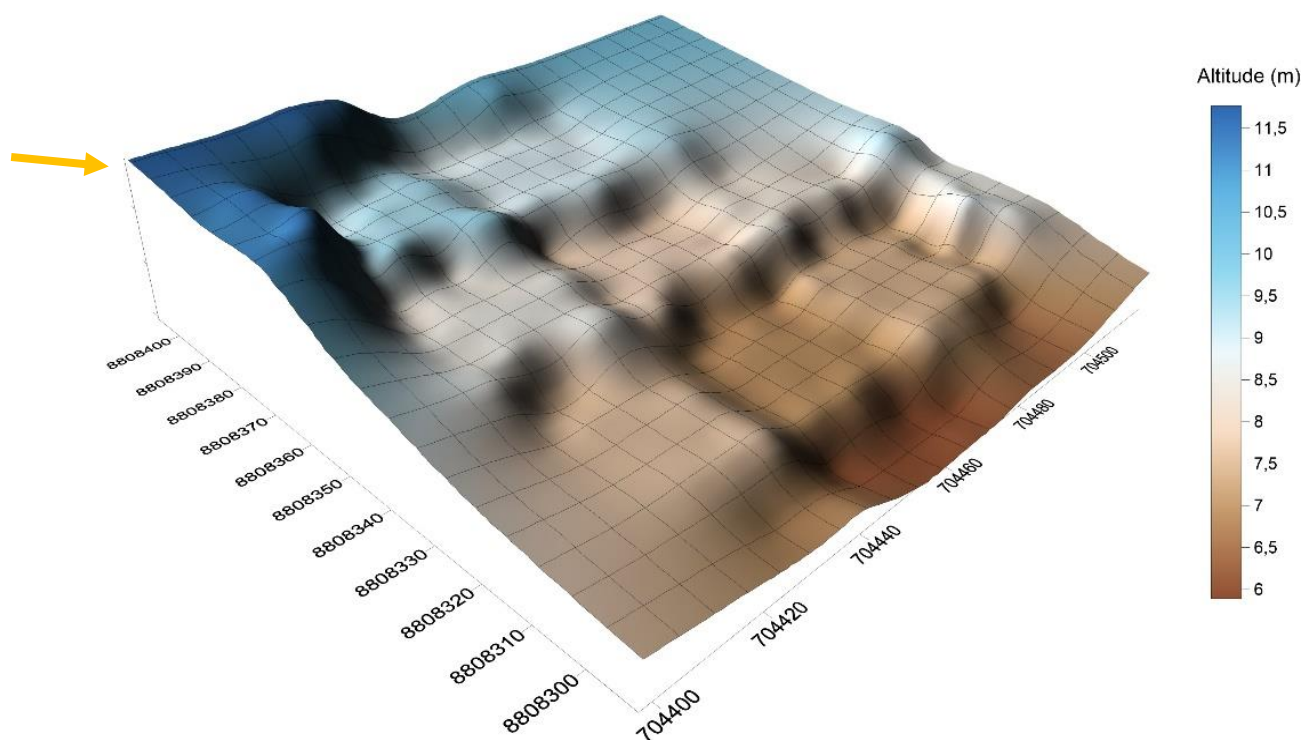
Para compreender essa ação dos processos morfogenéticos em relação ao desenvolvimento das dolinas levando em consideração o grau de entalhamento das águas superficiais e subterrâneas, foram separadas três dolinas: uma de dissolução no município de Divina Pastora e duas (uma de dissolução e outra de abatimento) em Maruim.

A dolina 01, de menor elevação topográfica, localiza-se no município de Divina Pastora, compreendendo uma cota altimétrica entre 6,0 a 11,5 metros (figura 4.8). Considera-se esse tipo de dolina assimétrica aluvial, oriunda dos processos de dissolução em consonância com abatimentos e transporte dos materiais a partir de uma linha de preferência de falha. A preferência da linha acompanhou a tendência da região no sentido NW-SE.

A origem dessa dolina está atrelada ao processo de tectonismo que possibilitou o faturamento da rocha, acelerando os processos de corrosão. Sua proximidade com o rio Sergipe (margem esquerda) indica que as variações do nível do rio contribuíram para a formação da dolina.

O perfil dessa dolina é distinto de outras dolinas no município de Divina Pastora. Para obter um parâmetro quantitativo da forma em perfil das dolinas, ou seja, perfil suave ou íngreme, calculou-se a razão entre a profundidade e o diâmetro (P/D). Quanto maior o valor de P/D mais íngreme é o perfil da dolina. White (1988) utiliza-se deste índice para diferenciar dolinas, poles, corredores e canyons (mais largas que fundas, com índice menor ou igual a 1) de chaminés, poços, abismos e fendas (mais fundas do que largas, com índice menor que 1). A dolina 01 possui profundidade de 2,20 m e diâmetro de 7,56 obtendo o valor P/D de 0.29, ou seja, apresenta um gradiente suavizado das vertentes.

Figura 4.8 – Modelo de dolina 01 de dissolução em Divina Pastora.



Elaboração: Cézar Henrique Barreto, 2018.

A dolina 02, também no município de Divina Pastora, encontra-se no patamar de 10,4 a 22 metros em relação ao nível de base. Tem sua origem a partir do colapso de condutos em material em sub-superfície. Essa dolina dá acesso a Caverna Vassouras (figura 4.9).

Formada pela linha preferencial de fratura (NW – SE). O faturamento, associado ao processo de dissolução por escoamento superficial, acelerou os processos de esculturação da feição. Essa dolina apresenta um índice de 0.96, o maior índice de P/D entre as dolinas sergipanas (figura 4.10).

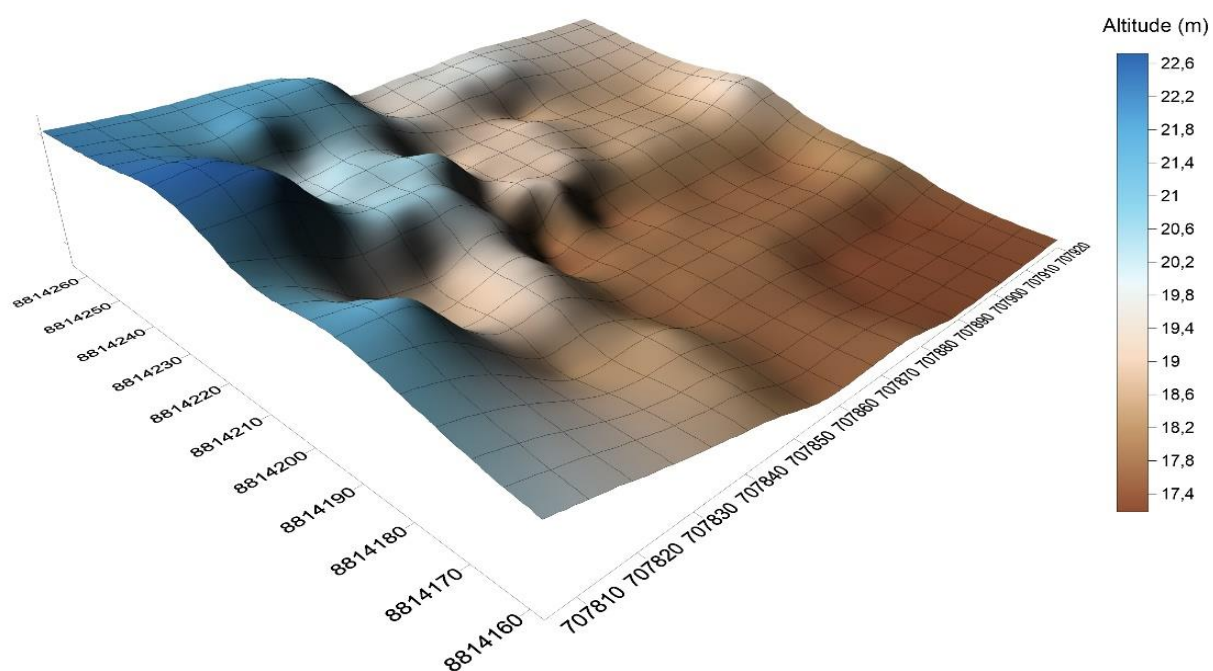
A dolina 03 tem como característica a presença de uma ressurgência. No carste Bacia Sergipe, é a dolina que se encontra no maior patamar altimétrico, entre 64 a 71 metros. É uma dolina de dissolução utilizada pelos moradores do entorno para lavar animais e dessedentar animais (Figura 4.11).

Figura 4.9 – Dolina de colapso em Divina Pastora permite o acesso a Caverna Vassouras.



Crédito: Heleno dos Santos Macedo, 2016.

Figura 4.10 – Modelo de dolina 02 de colapso em Divina Pastora



Elaboração: César Henrique Barreto, 2018.

Figura 4.11 – Dolina de dissolução em Maruim.

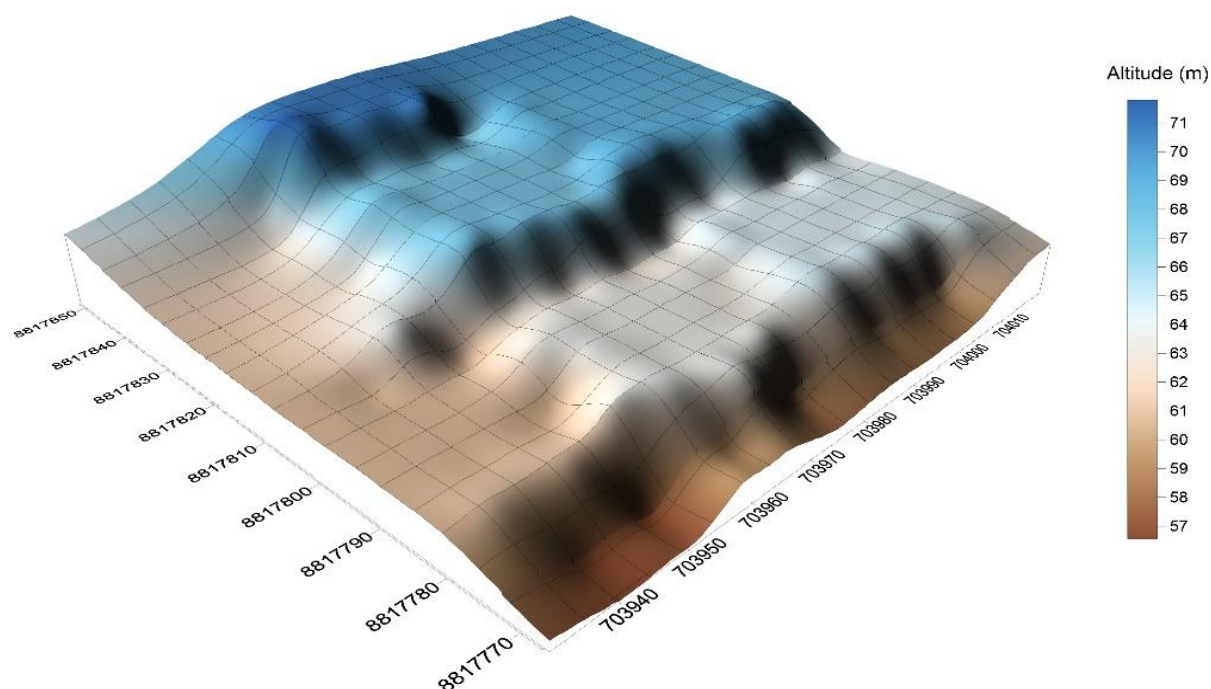


Crédito: Heleno dos Santos Macedo, 2016.

A dolina 03, mesmo localizada em um patamar superior as dolinas 01 e 02, evidencia a última ação de diastrofismo ocorrido no pleistoceno na Bacia Sedimentar de Sergipe (LIMA, 2010). Percebe-se que o maciço rochoso, foi soerguido e coberto por sedimentos da Formação Barreiras. Este fato, pode ser afirmado ao observa-se o entorno dessa dolina que se encontra em parte coberta por sedimentos do Barreiras. Após processos erosivos, o maciço foi exposto e os processos de dissolução foram entalhando o material, até o nível do lençol freático, expondo a ressurgência.

As fraturas no maciço onde se localiza essa dolina, acompanha a direção NW-SE das dolinas 01 e 02. A leste-sudeste outras dolinas são encontradas em patamares inferiores, evidenciando uma linha de preferência para essas fraturas.

O entalhamento do material de cobertura, associado ao processo de dissolução do maciço escoamento superficial, acelerou os processos de esculturação da feição. Com uma profundidade de 0,80 m e 9 metros diâmetro, essa dolina apresenta um índice de 0.80, o menor índice de P/D entre as dolinas sergipanas (figura 4.12).

Figura 4.12 – Modelo de dolina 03 de colapso em Maruim.

Elaboração: Cézar Henrique Barreto, 2018.

4.2.2 Lapiás

As lapiás no carste Bacia Sergipe concentra-se próximos das demais feições do exocarste como as dolinas, e próximo das áreas de cavernas. As lapiás dessa área cárstica, podem ser caracterizadas como lapiás de superfície livre e lapiás semicobertos segundo a classificação usada por Bögli (1960).

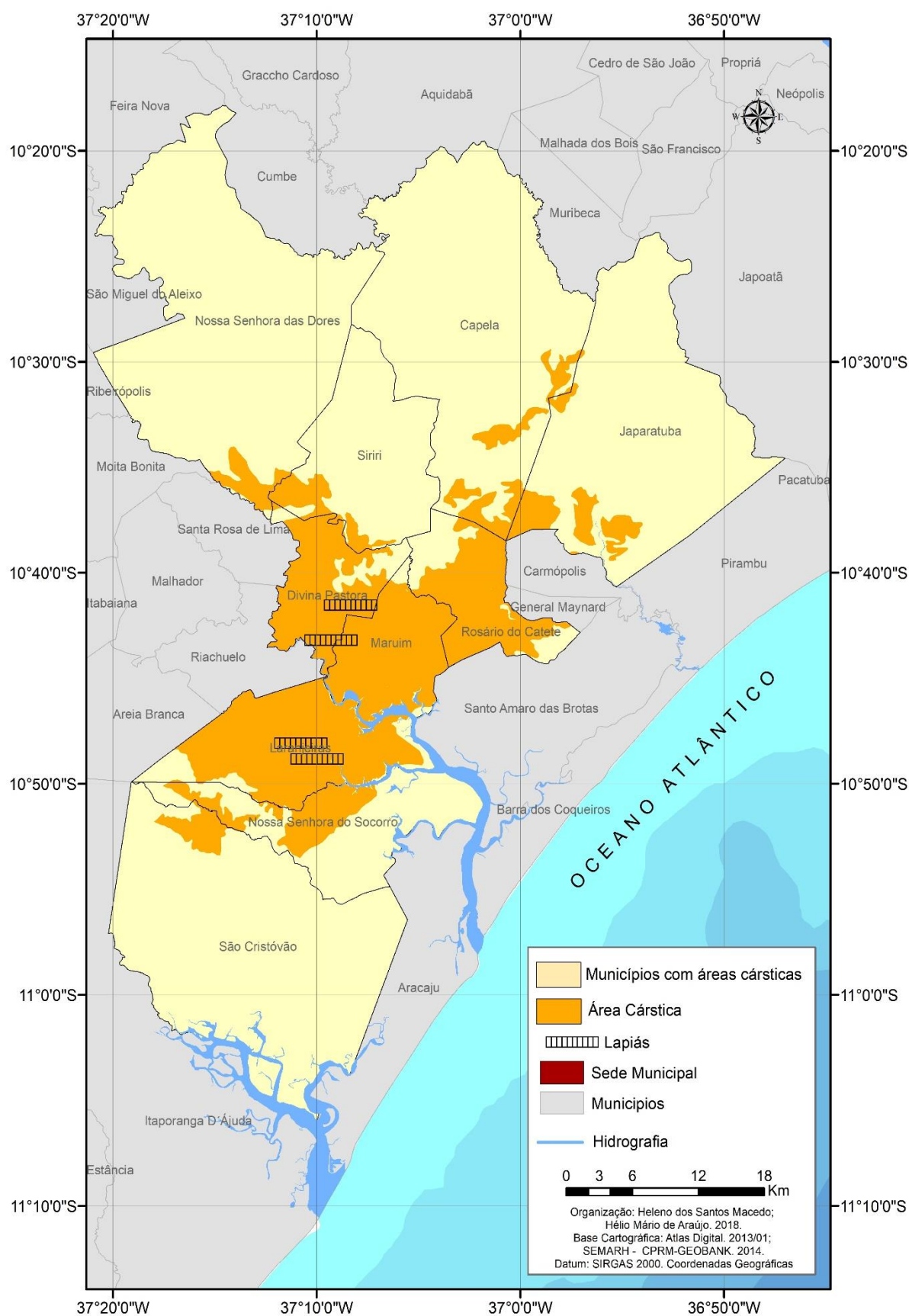
As lapiás dessa área cárstica são incipientes em dimensão e área ocupada. São pequenas caneluras que se formam a partir do processo de precipitação. Devido a elevada porosidade das rochas sofrem outros processos intempéricos, possibilitando o desenvolvimento de formas como marmitas. São encontradas principalmente nos municípios de Laranjeiras, Maruim e Divina Pastora (figura 4.13 e tabela 4.2). Poucas são cobertas por solos, e quando cobertas, apresentam pouca espessura.

Tabela 4.2 – Localização dos campos de Lapiás no Carste Bacia Sergipe

Coordenadas - Lapiás		
Nº	Longitude	Latitude
1	703545	8817460
2	701777	8814398
3	700468	8804025

Elaboração: Heleno dos Santos Macedo e Luana Pereira Lima, 2018.

Figura 4.13 – Localização dos campos de lapiás no carste Tradicional Bacia Sergipe



Elaboração: Heleno dos Santos Macedo, 2018.

A presença de lapiás incipientes sobre no Carste Bacia Sergipe, evidencia a fase inicial desenvolvimento dessa área cárstica. As feições que não estão cobertas por camadas de terra, se desenvolvem a partir da ação dos processos de escoamento das vertentes. As águas do escoamento que fluem pelas vertentes em direção às formas de absorção exercem uma ação química e, eventualmente, mecânica sobre as rochas calcárias, corroendo-as e erodindo-as (figura 4.14).

Figura 4.14 – Lapiás em estágio embrionário no município de Divina Pastora.



Crédito: Heleno dos Santos Macedo, 2016.

As caneluras das lapiás do Carste Bacia Sergipe são de tamanho e orientação diferentes, porém, algumas características são idênticas para todas, como por exemplo, apresentam cristas agudas pela corrosão das paredes laterais dos sulcos. As dimensões dessas cristas variam de alguns milímetros a alguns centímetros (figura 4.15).

Essa semelhança entre essas feições, mesmo em áreas distantes, advém da natureza, textura e estrutura da rocha carbonática, bem como, o sistema de diaclasamento e de fraturamento que esse maciço foi submetido. Outro fator importante para a incipiência no processo de desenvolvimento de lapiás nessa área cárstica, são as influências do clima pretérito e atual, aliados à ação direta ou indireta da vegetação e do solo.

Figura 4.15 – Cristas com alguns milímetros e/ou centímetros em Lapiás em Divina Pastora.



Crédito: Heleno dos Santos Macedo, 2016.

Em Laranjeiras, o campo de lapiás encontra-se, em parte, coberto por solos. Essa cobertura irá corroborar no processo de dissolução do material, pois a ação dos ácidos húmicos sobre a rocha recoberta de solo. Isso permite, uma ação mais incisiva sobre as rochas, formando caneluras e/ou outras feições derivadas de processos erosivos distintos como pequenos condutos, coalescência de condutos, entre outros (figura 4.16).

Figura 4.16 – Lapiás descoberta, parcialmente, com evidências de processos erosivos distintos.



Crédito: Heleno dos Santos Macedo, 2016.

4.2.3 Vales Cegos

Parte do vales cegos dessa área cárstica estão no município de Laranjeiras. Esses vales são marcados pela presença de riachos que desaparecem nos sumidouros, ressurgindo em pontos distintos da paisagem (figura 4.17).

Figura 4.17 – Vale cego usado como área de pastagem em Laranjeiras.



Crédito: Heleno dos Santos Macedo, 2016.

Parte desses vales são ocupados por práticas agropecuárias, com destaque para a cana-de-açúcar e criação de gado. É muito comum encontramos pequenas lavras ilegais dentro desses vales cegos. O descarte de afluentes é outro fator comum dentro dessas áreas.

Esses vales cegos foram entalhados pela extensa rede de drenagem que existe sobre a área, acentuado pelos movimentos transgressivos e regressivos do nível do mar ocorridos a partir do pleistoceno.

Devido à presença da Formação Barreiras em parte significativa da paisagem, os canais de drenagem, na sua grande maioria, ainda ocorrem em superfície, principalmente, nos municípios de Maruim e Divina Pastora. Assim como as dolinas, essas feições tendem a seguir uma tendência preferencial pelas fraturas originadas pelas atividades tectônicas recentes, a partir do Mioceno (LIMA, 2010).

Um vale cego é uma característica de superfície composta do ciclo cárstico que consiste em um vale fluvial normal em sedimentos impermeáveis e sua continuação em rochas permeáveis onde o rio (ou rio e também o vale) termina abruptamente em uma depressão ou um escoadouro. A parte do vale que se encontra rochas com baixa permeabilidade é geralmente mais longa (até 20 vezes ou mais) do que a parte das rochas permeáveis. Na área que corresponde as rochas carbonáticas, a parte inferior é mais larga e plana, enquanto as encostas são mais íngremes e formam a borda do anfiteatro. Por esta razão, todo o vale é chamado de vale cego ou fechado.

No caso dos vales cegos do carste Bacia Sergipe, as vertentes são constituídas por litologias como arenitos brancos, finos e conglomerados com intercalações de siltitos e folhelhos. Esses vales também são cobertos pelos sedimentos da Formação Barreiras.

Uma outra característica identificada no tocante aos processos de gênese dos vales cegos, refere-se ao grau de entalhamento em áreas na qual a o predomínio de calcilutitos e calcarenitos. Percebe-se que nessas áreas, as vertentes tendem a apresentar graus mais suavizados de declividade, evidenciando um processo de denudação mais acelerado. As vertentes nessas faixas se caracterizam como convexas-côncavas (figura 4.18).

Figura 4.18 – Vertentes convexas-côncavas em vale cego no município de Laranjeiras



Crédito: Heleno dos Santos Macedo, 2016.

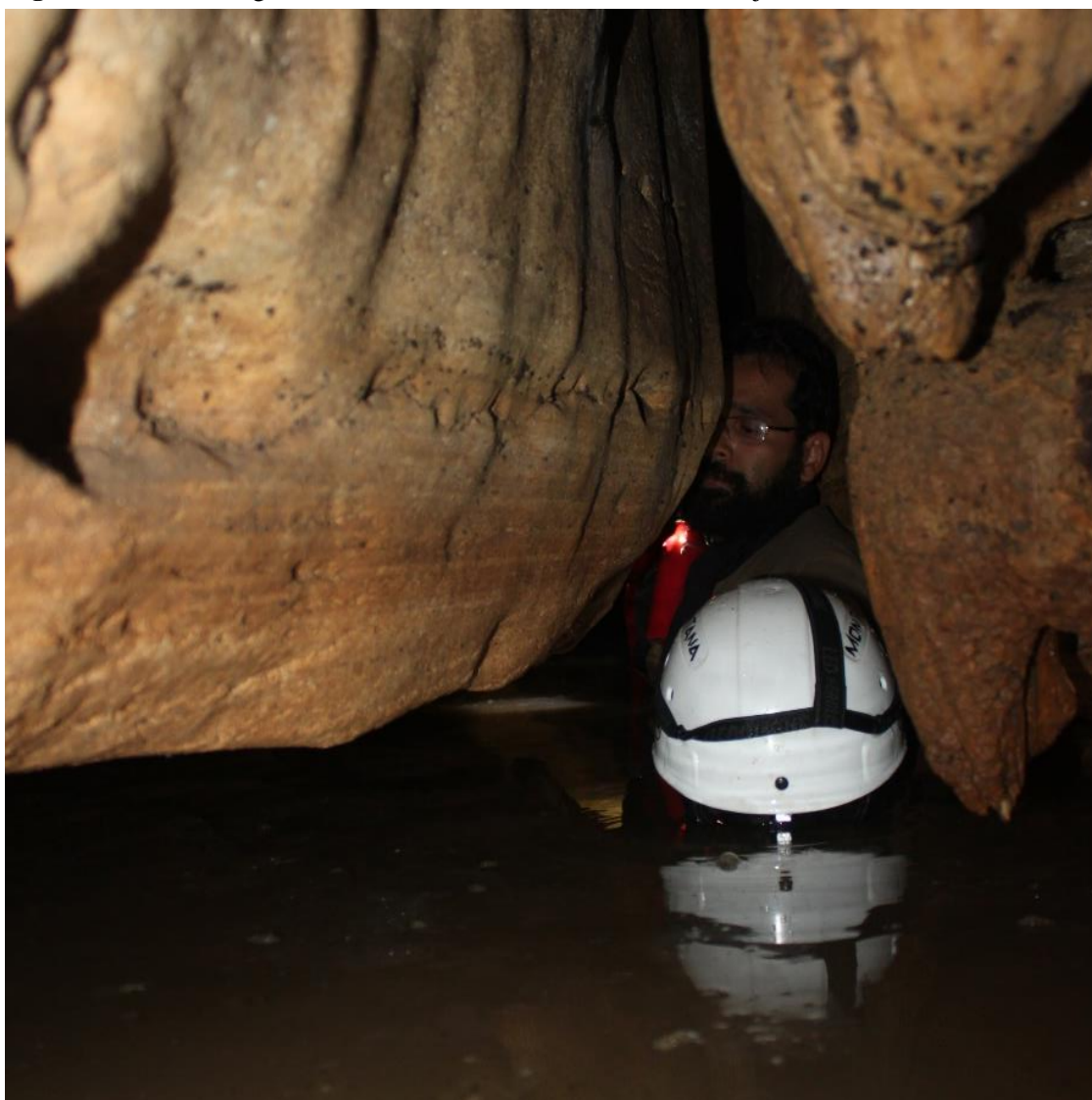
Esse tipo de relevo é aproveitado pelos produtores rurais para a construção de tanques para a captação de água oriunda do escoamento superficial obtido a partir da ação meteórica das chuvas.

4.2.4 Sumidouros e ressurgências

Sumidouros e ressurgências são feições raras no carste da Bacia Sergipe. No município de Laranjeiras esses tipos de feições são mais comuns. No município de Maruim é possível encontrar algumas feições desse tipo.

Uma das ressurgências mais conhecidas é a da Gruta do Aventureiro em Laranjeiras (figura 4.19). É comum encontrar ressurgências em dolinas nos municípios de Laranjeiras e Maruim. Algumas ressurgências aparecem após o processo de remoção de material litológico.

Figura 4.19 – Ressurgência na Gruta dos Aventureiros em Laranjeiras



Crédito: Heleno dos Santos Macedo, 2016.

A presença de sumidouros em paisagens cársticas, evidencia que em sub-superfície existe uma rede de drenagem subterrânea responsável pela modelação e transporte dos materiais dissolvidos durante o processo de carstificação. Quando ressurge em superfície, essas águas acabam sendo utilizadas para fins distintos, como por exemplo, para dessedentação animal e para irrigação.

Na Gruta dos Aventureiros, a água quando volta ao ambiente externo leva, além de materiais oriundo da decomposição química, matéria orgânica, principalmente, guano. A cor da água evidencia também sedimentos em suspensão, indicando que há turbulência no fluxo durante o seu trajeto no complexo de condutos dentro da gruta.

4.3 Evolução da Carste Tradicional Olhos D'água /Frei Paulo

O Carste tradicional Olhos D'água /Frei Paulo é mais antigo na sua morfogênese e morfoescultura, porém, seus processos de morfodinâmica foram reduzidos após a última transgressão a 5100 AP. As mudanças climáticas ocorridas após o Holoceno mudaram as condições de precipitação, levando a um processo mais lento de morfoesculturação do relevo.

O carste dessa área teve seu material depositado no Neoproterozóico. A partir dos processos de cisalhamentos ocorridos na região para a formação da Faixa de Dobramentos Sergipana, esse material passou por determinadas pressões alterando seus componentes mineralógicos.

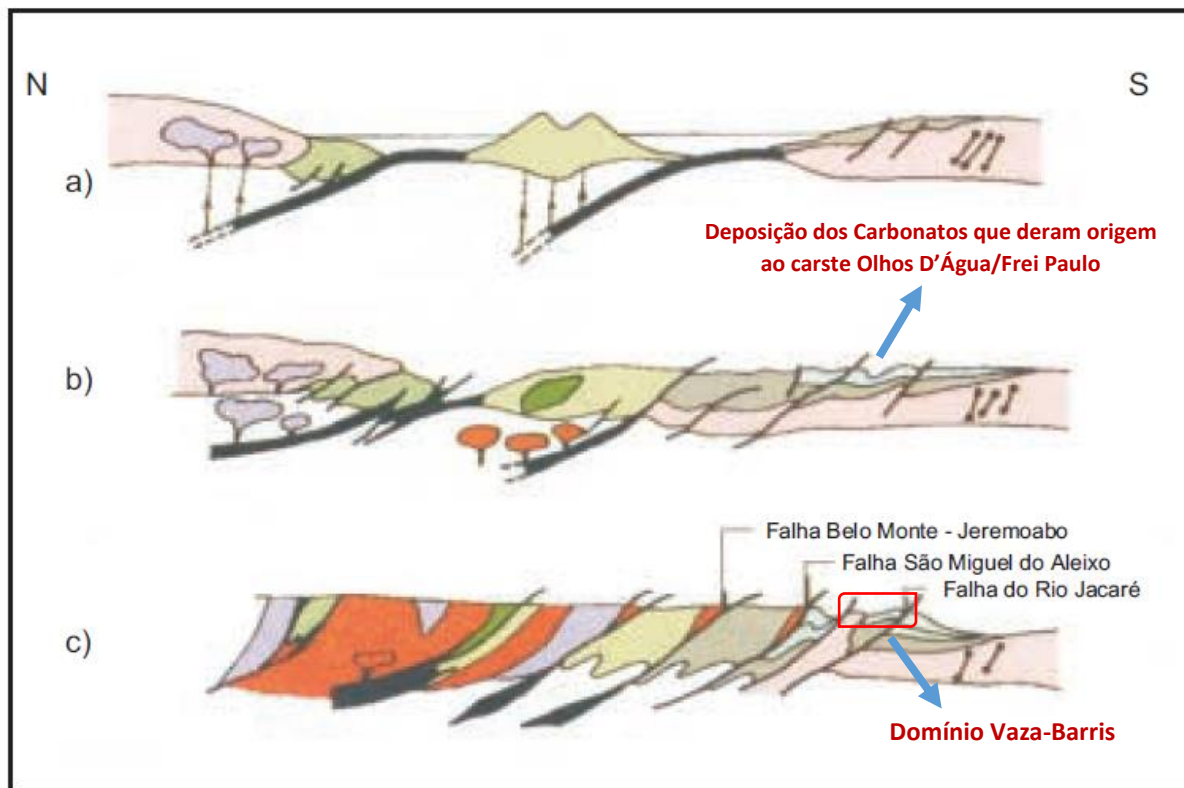
As deformações da Faixa de Dobramentos Sergipana, neoproterozóicas, envolveram as porções deste embasamento nos domos de Itabaiana e Simão Dias (D'el Rey Silva, 1992). Granitóides posicionados no âmbito do embasamento forneceram idade isocrônica de 1,75Ga, representando uma fase magmática tardia, à qual se associa, também, o vulcanismo distensivo fissural de Arauá.

A Faixa de Dobramentos Sergipana, marginal ao Cráton São Francisco, é um dos sistemas de dobramentos da zona transversal da Província Borborema, cuja história geológica, multifásica, desenvolveu-se a partir do Mesoproterozóico.

O marco mais antigo são as rochas vulcânicas de Arauá, que têm idade de 1.800Ma, e a Formação Palestina, considerada base da sequência neoproterozóica, por conter seixos metamórficos da Formação Jacoca e por ter correlativos no Cinturão do Oeste do Congo e no Cinturão Damara, ambos no continente africano, conforme D'el Rey Silva (1992). O último marco importante são os leucogranitos colisionais do tipo Garrote, com idade de 715Ma.

A partir destas considerações e da integração dos dados levantados, a evolução da Faixa de Dobramentos Sergipana pode ser entendida aplicando-se o modelo da tectônica de placas (figura 4.20) – (SANTOS, 2001).

Figura 4.20 - Evolução geológica da Faixa de Dobramentos Sergipana no espaço e no tempo.



Fonte: Santos, 2001.

O registro da fase distensiva sobre o cráton é dado pelas vulcânicas de Arauá, colocadas sob forma de diques há 1.800Ma. Esta fase distensiva é marcante em várias partes do Brasil, e correlativa ao início do Ciclo Espinhaço. Em seguida à distensão, instalou-se uma bacia em margem continental do tipo Atlântica, cuja sedimentação psamito-carbonática de plataforma rasa é testemunhada por parte do Grupo Estância e Grupos Miaba e Simão Dias, lateralmente correlativos, mas representando tectono-fácies distintos.

A plataforma profunda, com altos emersos ou não, abriga sedimentação pelito-psamítica, às vezes rítmicas do Grupo Macururé. A ligação e correlação entre os dois ambientes se dá respectivamente através da Formação Itabaiana, depositada sobre rochas do embasamento.

Os domínios Canindé e Marancó, contendo vulcanismo toleítico básico e calcialcalino intermediário a ácido, além de rochas vulcano-clásticas e sedimentos químicos e detríticos, sugerem um ambiente de arco vulcânico insular. A idade de 1.007Ma de um riólito do Domínio

Marancó mostra que a Placa Sanfranciscana estava em subducção sob uma placa oceânica a norte, condição necessária à formação do arco insular. O Domínio Canindé, com rochas de linhagem oceânica, tanto poderia estar ligado a um arco como a um prisma acrescionário (SANTOS, 2001).

Após a colisão arco vulcânico-Placa Sanfranciscana, processa-se uma distensão cujo principal registro é a Formação Palestina com seus diamictitos portadores de seixos metamórficos das sequências subjacentes (Grupos Miaba/Simão Dias). São registradas vulcânicas e plutônicas gabróides nos Domínios Vaza-Barris e Macururé, mas não existem informações sobre sua geoquímica, podendo os gabros ser cogenéticos com os granitóides calcialcalinos adiante tratados.

D'el Rey Silva (1992) compara a Formação Palestina com diamictitos do oeste do Congo e de Damara que marcam o início do Neoproterozóico nestes cinturões dobrados. A bacia neoproterozóica expandiu-se a partir do *rift* Palestina através da Sequência calcopelítica Olhos d'Água. Embora não exista consenso com respeito à idade de colocação/cristalização dos plutonitos da Suíte Intrusiva Canindé, uma vez que apenas se dispõe de datações pelo método K/Ar (448Ma), a mesma é considerada por Bezerra (1992) sinorogênica, embora Oliveira & Tarney (1990) a considerem anorogênica.

Essa área cárstica teve a presença de um longo período de precipitação, levando a um trabalho bastante significativo dos sistemas hidrográficos. Essas feições cársticas são oriundas de recarga autogênicas, desenvolvidas pela presença da água das chuvas, mas também, pelos fortes processos hidrogeológicos ocorridos na área, denunciados pelas cavidades.

Essa paisagem cárstica possui as maiores feições do carste sergipano tanto no tocante ao exocarste como no endocarste. Isso ocorre devido ao maior período que esses materiais tiveram expostos aos processos intempéricos, bem como as características litológicas.

Primeiramente, as rochas carbonáticas dessa área apresentam uma porosidade primária bastante incipiente devido ao processo de formação dessas litologias. Os calcários da Formação Olhos D'água são bandados, possuem camadas bem definidas e na sua maioria possui uma maior presença de magnésio e dolomita, sendo caracterizada como calcário dolomítico.

As ativações tectônicas ocorridas a partir do Paleozóico, também acabaram criando sobre esse material uma porosidade secundária permitindo o papel de circulação da água, possibilitando os processos de corrosão e dissolução do material.

Outra característica dessa área cárstica é a presença de um gradiente maior do relevo, possibilitando uma maior ação dos fluxos de água subterrânea e superficiais, com maior energia moldando as feições ao longo do tempo.

A ausência de longas capas de solos, também se configura como uma fator que possibilitou um intemperismo mais rápido, porém, essa ausência se configura como um fator que impediu o desenvolvimento das feições do endocarste.

O papel da drenagem superficial ficou a cargo da bacia hidrográfica do Rio Vaza-Barris. O Vaza-Barris teve um papel fundamental no processo de esculturação do carste Olhos D' Água/Frei Paulo, entalhando o material com seus vários afluentes.

Provavelmente a cobertura vegetal nessa faixa da paisagem em Sergipe era do tipo cerrado, contribuindo para os processos de percolação das águas superficiais. Os relevos dissecados certamente contribuíram para os processos de intemperismo e erosão do material.

O processo de evolução dessa área cárstica ocorreu da seguinte forma:

- a) Deposição dos carbonatos no Neoproterozóico do Mar Canindé; regressão do mar e avanço de outras enseadas ao longo do Paleozóico depositando novas matérias;
- b) Devido as forças orogenéticas esse material passou por intensa força de cisalhamento, sofrendo pequenos graus de metamorfismo. Parte desses carbonatos foram soterrados por outras matérias;
- c) A partir do Mesozóico esse material para por novas ativações tectônicas e começa a ser entalhado por antigos paleocanais do que seria atualmente o vaza barris. O Vaza-Barris deveria ter uma altura bem mais expressiva no início desse processo.
- d) A partir do cenozoico e a definição atual dos continentes, o clima mais úmido levou ao entalhamento do material superficial aos carbonatos depositados mais abaixo, novas drenagens devem ter iniciado processos de entalhamento do material, todos conduzidos pela dinâmica hidrográfica do rio Vaza –Barris. Os primeiros carbonatos devem ter sido expostos no pleistoceno inferior. Começando a passar por novas ações de intemperismo, como por exemplo, as ações mecânicas. A medida que as condições do clima estavam passando por mudanças, o gradiente hidráulico era reduzido e a ação das águas superficiais assumiam o papel relevante no processo de esculturação.
- e) Muito provável que as feições cársticas tenham sua origem nessa área já nas primeiras fases mais antigas das últimas glaciações. As primeiras dolinas, lapiás e o polje, deve ter iniciado seu processo de esculturação ainda no terciário pela presença do sistema hidrográfico do Rio Jacaré, que deveria ser muito expressivo nesse período e teria entalhado os carbonatos dessa área
- f) O processo de entalhamento deve ter sido reduzido após o último evento de regressão, quando a precipitação diminuiu e os vários sistemas de drenagens passaram a ser intermitentes ou mesmo efêmeros.

4.4 Feições Exocársticas Olhos d' Água/Frei Paulo

4.4.1 Dolinas

Existem 32 dolinas no carste Olhos D' Água /Frei Paulo, das quais quinze são do tipo abatimento e/ou colapso e dezessete dolinas de subsidência. As dolinas dessa área são mais profundas e possuem maiores diâmetros que a outra área cárstica. Possuem uma profundidade média de 6 metros com diâmetros variando entre 5 a 8 metros. A maior parcela de dolinas se concentram nos municípios de Simão Dias, Macambira e Pinhão (tabela 4.3).

Tabela 4.3 – Localização das dolinas no Carste Olhos D' Água/Frei Paulo.

Coordenadas - Dolinas				
Nº	Município	Tipo de Dolina	Longitude	Latitude
01	Pinhão	Dissolução	636922	8802813
02	Simão Dias	Dissolução	626648	8812867
03	Simão Dias	Dissolução	623885	8814417
04	Simão Dias	Dissolução	623645	8814490
05	Pinhão	Abatimento	638267	8829408
06	Pinhão	Dissolução	638324	8829647
07	Pinhão	Dissolução	638264	8829732
08	Pinhão	Abatimento	635229	8831042
09	Pinhão	Dissolução	635964	8830815
10	Pinhão	Dissolução	636415	8830009
11	Pinhão	Dissolução	636406	8829858
12	Pinhão	Dissolução	639980	8830358
13	Macambira	Abatimento	654519	8818886
14	Macambira	Dissolução	659073	8803969
15	Lagarto	Abatimento	641708	8784430
16	S.Domingos	Abatimento	650318	8812588
17	Macambira	Abatimento	653682	8819520
18	Macambira	Dissolução	699938	8803496
19	Macambira	Abatimento	654992	8819124
20	Macambira	Abatimento	655703	8819687
21	Macambira	Abatimento	655700	8819707
22	Simão Dias	Dissolução	616605	8808586
23	Simão Dias	Abatimento	616718	8808091
24	Simão Dias	Dissolução	616584	8808285
25	Simão Dias	Abatimento	617041	8808530
26	Simão Dias	Abatimento	614814	8809012
27	Poço Verde	Dissolução	609598	8809973

Continuação

28	Poço Verde	Dissolução	609572	8809998
29	Poço Verde	Dissolução	609544	8809992
30	Poço Verde	Abatimento	609610	8809962
31	Poço Verde	Abatimento	609546	8810001
32	Poço Verde	Abatimento	609630	8809949

Elaboração: Heleno dos Santos Macedo e Luana Pereira Lima, 2018.

O município de Pinhão é o que apresenta a maior quantidade de dolinas (09), seguido pelos municípios de Simão Dias (08), Macambira (07), Poço Verde (06), Lagarto (01) e São Domingos (01) – Figura 4.22.

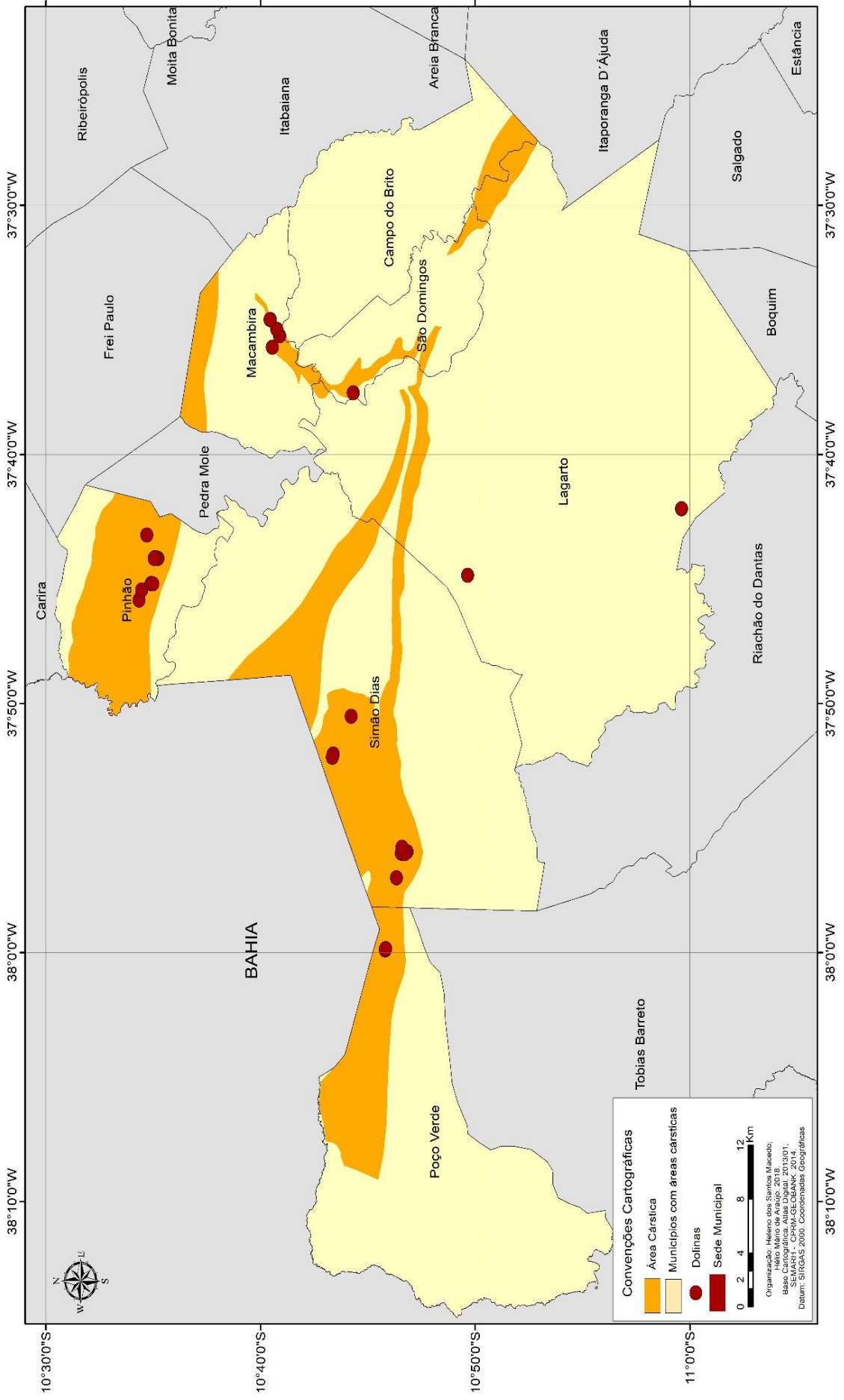
As dolinas de dissolução são o tipo mais comum. Formadas a partir do processo de dissolução da rocha carbonática em superfície e sub-superfície, o seu formato é característico e fácil de ser identificado na paisagem. Nessa área cárstica encontramos, no tocante à forma, os tipos bacia, funil, balde e colmatada (figura 4.21).

Figura 4.21 – Dolina de dissolução em Pinhão.



Crédito: Heleno dos Santos Macedo, 2016.

Figura 4.22 – Dolinas no Carste Olhos D'Água /Frei Paulo.



Elaboração: Helene dos Santos Macedo, 2018.

As dolinas de abatimento nessa área cárstica tiveram sua origem a partir do rebaixamento do nível freático, condicionadas, também, por eventos tectônicos ocorridos a partir do Paleógeno. Essas evidências das atividades tectônicas são possíveis de ser identificadas a partir da observação das estruturas internas de cavidades naturais que essas dolinas dão acesso, onde é perceptível a identificação de falhas e/ou fraturas em vários trechos de diferentes camadas (figuras 4.23 e 4.24).

Três Dolinas de abatimento (nos municípios de Lagarto, Pinhão e Simão Dias) permitem o acesso (dentro de cavidades naturais) a água subterrânea. Os moradores do entorno dessas dolinas utilizam essa água para vários fins, tais como, dessedentação animal, irrigação e para o próprio consumo.

Figura 4.23 – Dolina de colapso que dá acesso a Furna do Bié em Simão Dias.



Crédito: Heleno dos Santos Macedo, 2016.

Figura 4.24 – Dolina de colapso que dá acesso à Caverna da Fumaça em Lagarto.



Crédito: Heleno dos Santos Macedo, 2016.

A dolina de maior diâmetro e profundidade localiza-se na fazenda Itororó no município de São Domingos nas imediações da Serra da Miaba. Essa dolina permite o acesso a fuma 200 Tarefas, também conhecida como Fuma do Cangô, um dos maiores pórticos de caverna de Sergipe, estimado em até, aproximadamente 7 metros de altura por 15 metros de largura (figura 4.25).

Figura 4.25 – Pórtico de acesso a Fuma das 200 Tarefas em São Domingos.



Crédito: Heleno dos Santos Macedo, 2016.

Dentro da cavidade, encontramos blocos empilhados derivados do processo de abatimento. O ponto mais profundo dessa fuma tem desnível altimétrico em relação a entrada de aproximadamente 25 metros, podendo ser considerada a dolina mais profunda de Sergipe (figura 4.26). No seu interior é possível identificar nas camadas os processos de deposição dos carbonatos, em camadas estratificadas horizontalmente, com um leve mergulho a Sudeste. O fundo da Dolina contém sedimentos de várias granulometrias, com destaque para, brechas, conglomerados, areia e argila.

Figura 4.26 – Blocos empilhados na Fuma das 200 Tarefas em São Domingos.



Crédito: Heleno dos Santos Macedo, 2016.

Esses materiais depositados no piso da Fuma 200 Tarefas evidenciam, no pretérito, a presença de uma drenagem subterrânea criptorréica bem expressiva. Além disso, também pode-se concluir que o nível da rede de drenagem no pretérito era mais elevado que a atual, pois, os canais do presente encontram-se em um desnível da dolina de 60 metros de altitude.

O município de Pinhão possui o maior número de dolinas, um total de nove. Dessas dolinas, sete são de dissolução e duas de abatimento. Uma das dolinas de abatimento permite o acesso a uma cavidade natural, porém, devido ao descarte de lixo dentro da dolina, o acesso não é possível.

As dolinas de Simão Dias e Poço Verde, são caracterizadas por apresentar diâmetros pequenos (na maioria delas não ultrapassa os cinco metros), com profundidades entre 1 a 2 metros. Essas dolinas evidenciam linhas de preferência das forças de diastrofismo no sentido noroeste-sudeste. Nas suas bordas, contém falhas e na sua grande maioria, o material em superfície evidencia processos de dobramento. Algumas das dolinas tem suas linhas de preferência no sentido nordeste-sudoeste.

4.4.2 Lapiás

As lapiás no carste Olhos D'Água são mais desenvolvidas no tocante ao aspecto morfológico em comparação com os lapiás do carste Bacia Sergipe. Existem campos de lapiás nos municípios de Macambira, Pinhão, Poço Verde e Simão Dias – Figura 4.27 e tabela 4.4.

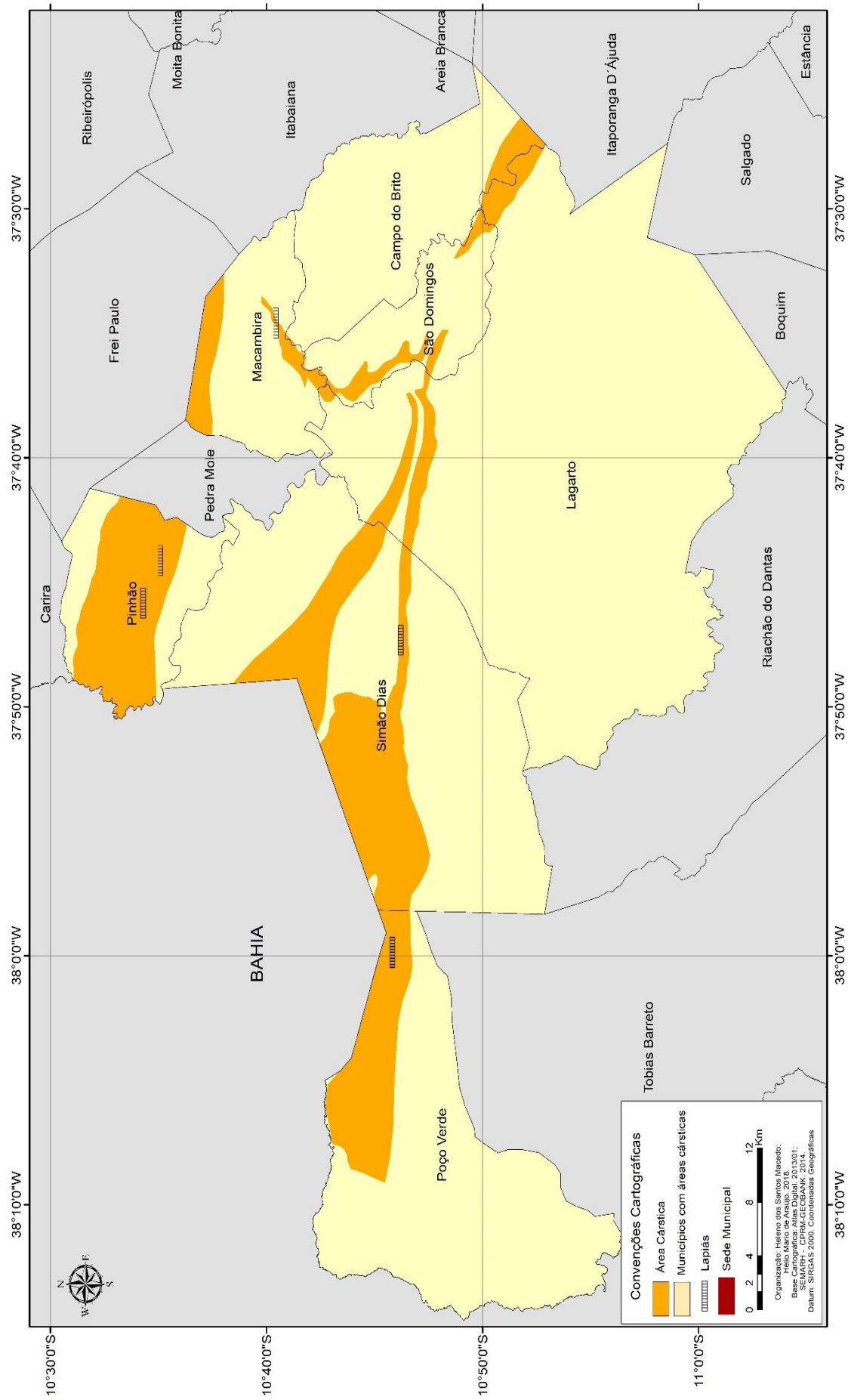
Tabela 4.4 – Localização dos campos de Lapiás no Carste Olhos D'Água /Frei Paulo

Coordenadas - Lapiás			
Nº	Município	Longitude	Latitude
1	Macambira	699026	8805421
2	Simão Dias	655707	8819709
3	Pinhão	638339	8829632
4	Pinhão	632429	8809170
5	Pinhão	632448	8809144
6	Pinhão	635237	8831134
7	Poço Verde	609608	8809976
8	Poço Verde	609579	8809977

Elaboração: Heleno dos Santos Macedo e Luana Pereira Lima, 2018.

O maior desenvolvimento das lapiás nessa área cárstica é em decorrência de fatores como o maior tempo de ação das águas meteóricas sobre o maciço rochoso, um epicarste mais desenvolvido e a baixa porosidade das rochas carbonáticas.

Figura 4.27 – Campos de Lapiás no Carste Olhos D'Água /Frei Paulo.



Elaboração: Helene dos Santos Macedo, 2018.

O município de Poço Verde possui em extensão e em desenvolvimento da morfologia, o mais importante campo de lapiás do carste sergipano. São encontrados nos lapiás de Poço Verde vários processos de corrosão, evidenciando heterogeneidade nos processos de carstificação (figura 4.28).

Figura 4.28 – Campo de Lapiás no sistema cárstico do Maciço Caraíba em Poço Verde.



Crédito: Heleno dos Santos Macedo, 2016.

São encontrados nesses campos de lapiás em Poço Verde, sessões de canalículo em U e V, cristas na ordem de centímetros, com padrões do tipo anastomosado, retangular, paralelo, horizontal e vertical. Essas características evidenciam importantes dados genéticos e de evolução em função das condições ambientais e geoquímicas pretéritas e atuais do carste (figura 4.29).

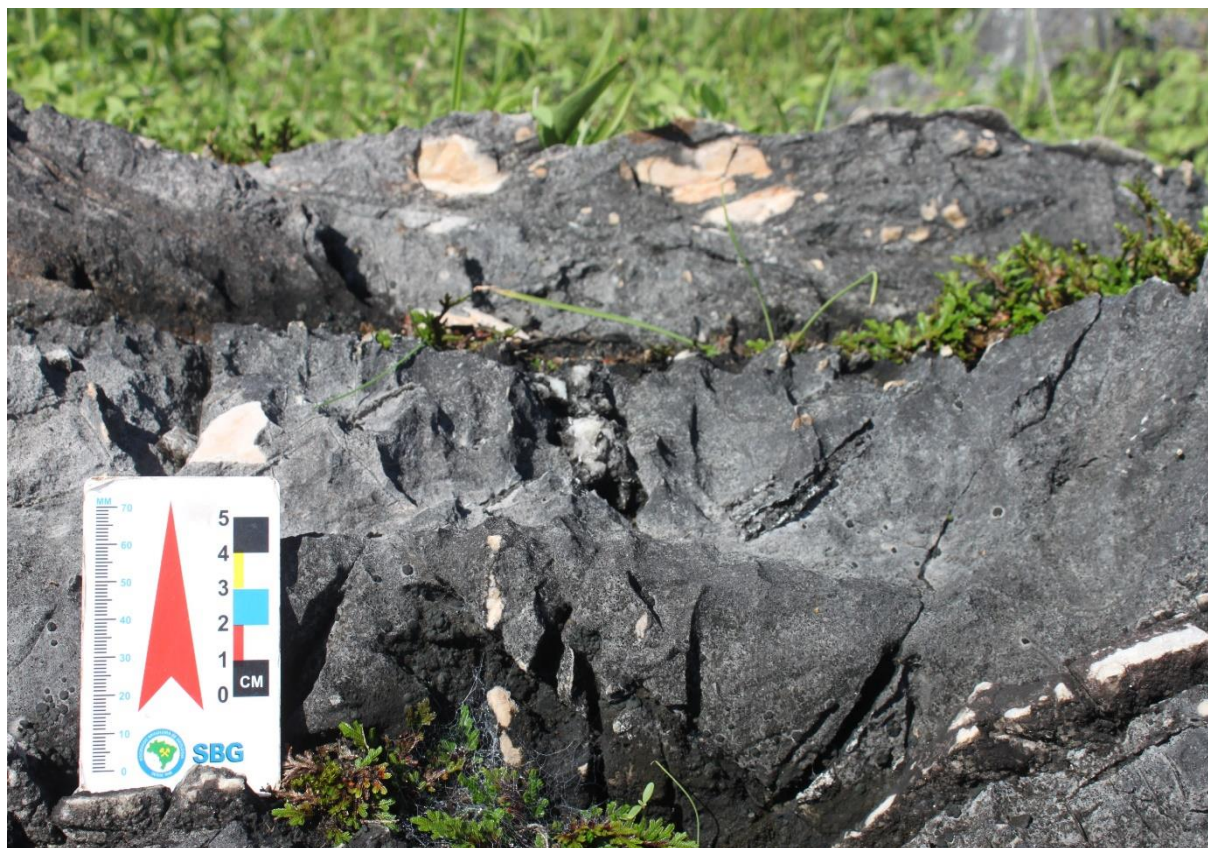
Figura 4.29 – Padrões paralelos, horizontais e verticais das canículas em Lapiás no sistema cárstico do Maciço Caraíba em Poço Verde.



Crédito: Heleno dos Santos Macedo, 2016.

A maioria dos lapiás do carste Olhos D'Água /Frei Paulo são constituídos em rochas carbonáticas com maiores teores de calcita e magnésio, porém, em alguns trechos são encontrados lapiás constituídos por camadas intercaladas com matérias como quartzo, siltitos e folhelhos (figura 4.30). Isso evidencia o que Uhlein *et al.* (2011) relata sobre os processos de desenvolvimento da Formação Olhos D' Água que deram origem a Faixa de Dobramentos Sergipana.

Figura 4.30 – Campo de Lapiás com intercalações de quartzo em Pinhão.



Crédito: Heleno dos Santos Macedo, 2016.

Um epicarste bem desenvolvido garante um processo de carstificação mais acentuado. Essa condição é percebida nos lapiás dessa área cárstica. Os solos que recobrem essas feições possuem, atualmente, profundidades entre 0,80 a 1,60 metros. Em alguns trechos parte desses solos já foram removidos pelos processos naturais ou em decorrência das atividades de agropecuária (figura 4.31).

Porém, pode-se afirmar que devido o desenvolvimento mais expressivo dessas feições se deu em decorrência da cobertura de solos mais profundos no pretérito. Acredita-se que se as condições do clima no pretérito fossem mais úmidas para a região, a partir do Pleistoceno Médio, os lapiás apresentariam morfologia mais desenvolvida.

Figura 4.31 –Lapiás com caneluras expressivas em propriedade agrícola no município de Pinhão.



Crédito: Heleno dos Santos Macedo, 2016.

Em Poço Verde o papel do epicarste também é evidenciado. Em áreas com cobertura de solos, os lapiás se encontram em estágio mais desenvolvido, podendo ser classificados segundo Bögli (1960) como lapiás semicobertos e de superfície livre. Os semicobertos apresentam cristas maiores e caneluras mais desenvolvidas, enquanto, os de superfície livre apresentam condições embrionárias para as cristas e caneluras (figura 4.32).

Figura 4.32 – Campo de lapíás em estágio embrionário no Maciço Caraíba em Poço Verde.

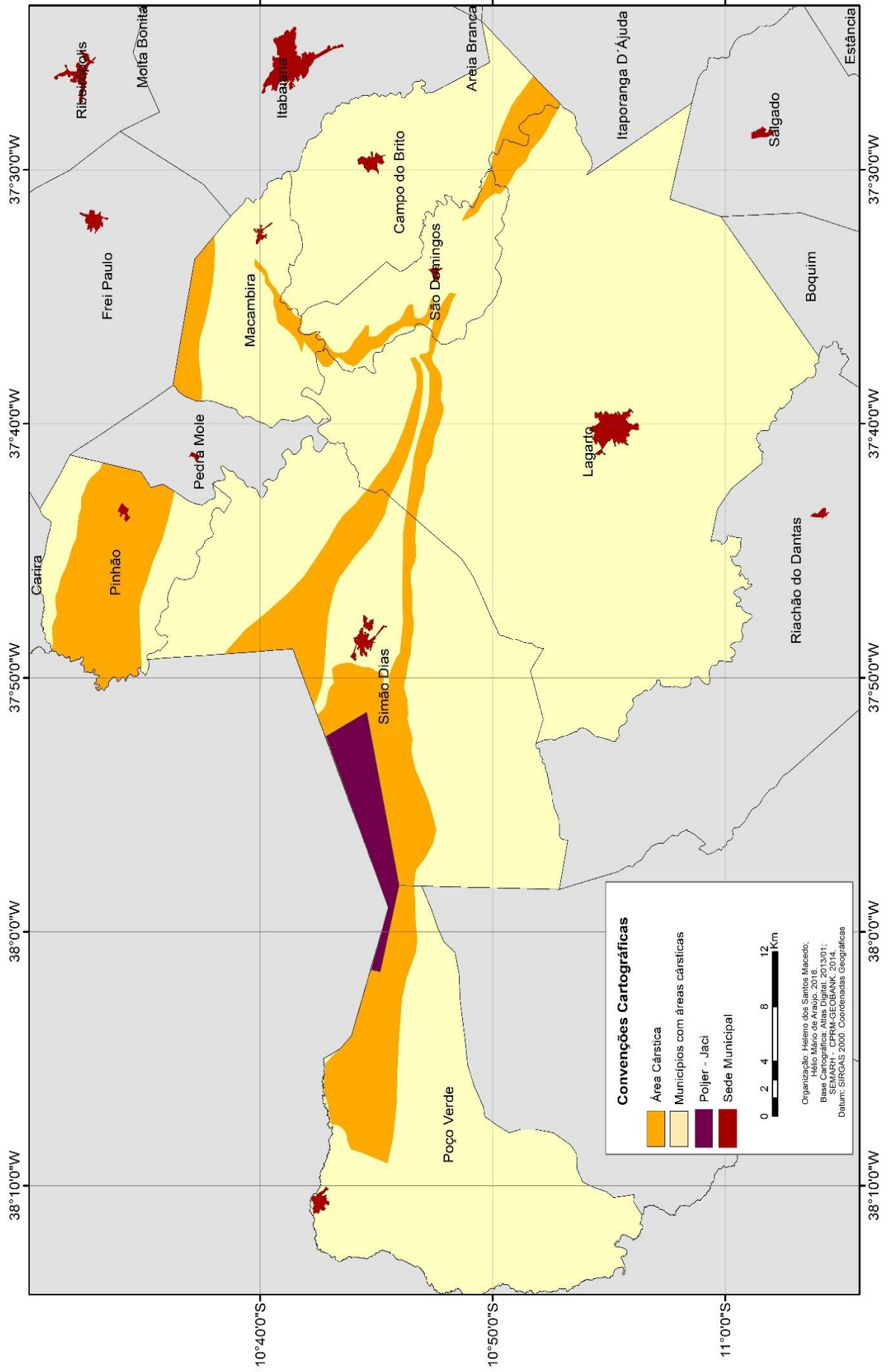


Crédito: Heleno dos Santos Macedo, 2016.

4.4.3 *Polje Jaci*

O Carste Olhos D'água contém uma feição não comum no carste da região Nordeste, os *Poljers*. O termo *polje* é amplamente utilizado na língua eslava e significa, campo, sem nenhuma conotação particular do tipo de terreno e não necessitando ser cárstico (FORD; WILLIAMS, 1989). O Polje dessa área cárstica encontra-se entre os municípios sergipanos de Simão Dias e Poço Verde e o município Baiano de Adustina (figura 4.33).

Figura 4.33 – Localização do Polje Jaci



Elaboração: Helene dos Santos Macedo, 2018.

Os antigos moradores relatam que os grupos indígenas que habitavam a região denominavam essa planície de Vale da Lua, pois nas noites de lua cheia, a luz refletida pela lua iluminava todo o vale. Diante da toponímia, o *polje* foi denominado de Jaci, que na língua Tupi significa Lua.

Internacionalmente, a terminologia *polje* é utilizada para denotar grandes depressões fechadas em terrenos cársticos, com fundo plano e circundadas por paredes íngremes. A denominação pode ser aplicada em dois casos: como referência a toda a depressão, incluindo o vale e as margens de alta declividade ou, limitando-se às terras que são planas, aluviais e aráveis com valor agrônômico, como cita Sweeting (1973).

Outro conceito de *polje* o define como uma extensiva bacia (completamente fechada) com base plana, drenagem cárstica e com pelo menos um dos lados com alta declividade (GAMS, 1978). Segundo Cvijic (1893), Gams (1978) Ford e Williams (1989) a dimensão mínima a ser considerada é respectivamente de 400 metros a um quilômetro. O Polje Jaci tem uma área de aproximadamente 140 mil metros quadrados. A maior parte encontra-se no município de Adustina (BA).

Para LeGrand (1983), os *poljés* eram vales aluviais planos cercados por cristas de calcário nuas relativamente íngremes. Field (2002) definiu o *polje* como uma depressão grande e plana no cárstico calcário, cujo longo eixo é desenvolvido paralelamente as tendências estruturais e pode atingir dezenas de quilômetros de comprimento. Depósitos superficiais tendem a se acumular no chão. Drenagem pode ser por ambos os cursos de água de superfície (onde o *polje* é classificado como aberto) ou com a presença de sumidouros (um *polje* fechado). O Polje da área cárstica Olhos D'Água/Frei Paulo é definido como aberto, por não apresentar sumidouros e ressurgências na sua paisagem.

Do ponto de vista hidrológico-hidrogeológico, um *polje* deve ser considerado como parte de um sistema mais amplo. Não pode ser tratado como um sistema independente, mas apenas como um subsistema no processo de escoamento superficial e subterrâneo o maciço carste. *Poljes* desempenham um papel importante no balanço hídrico hidrológico-hidrogeológico de áreas cársticas

Pode-se observar que as áreas melhores áreas em relação a prática da agricultura está localizada justamente sobre o espaço que compreende o *polje*. Em decorrência da facilidade de captação da água subterrânea pelos processos de percolação, as práticas com o uso da irrigação, oriunda das águas subterrâneas são comuns nessa área cárstica (figuras 4.34 e 4.35).

Figura 4.34 – *Polje* Jaci utilizado para o cultivo do Milho em Poço Verde.



Crédito: Heleno dos Santos Macedo, 2016.

Figura 4.35 – *Polje* Jaci utilizado para o cultivo do feijão em Poço Verde.



Crédito: Heleno dos Santos Macedo, 2016.

O uso das águas subterrâneas para a irrigação nas áreas vinculadas ao Polje Jaci, vem acarretando problemas de abastecimento para algumas comunidades que se localizam no entorno. O rebaixamento do nível freático já é percebido por lavradores, principalmente, durante os períodos de longa estiagem.



05. GEOESPELEOLOGIA: A EVOLUÇÃO DAS CAVERNAS EM SERGIPE

5.1 Caracterização dos sistemas de cavernas

Os sistemas de cavernas encontram-se nas duas unidades do carste Tradicional em Sergipe. As duas áreas cársticas possuem 133 (cento e trinta e três) cavernas, sendo o município de Poço Verde o que se apresenta com o maior número de cavidades naturais (34), seguido pelo município de Simão Dias (19), Laranjeiras (17) e Lagarto (13) (quadro 5.1).

As cavernas do carste tradicional em Sergipe, não possuem desenvolvimento horizontal e vertical expressivos, apresentam baixa diversidade de espeleotemas, principalmente, espeleotemas pavimentares, e, com exceção do maciço caraíba localizado em Poço Verde, não se encontra um sistema de cavernas conectadas, ou seja, as cavidades se desenvolveram a partir de processos *in loco* em seus maciços rochosos. Este fato advém da presença de outros tipos de materiais entre os maciços de calcário com a ausência de um epicarste desenvolvido; o baixo gradiente do relevo e da ausência de uma rede subterrânea de drenagem turbulenta.

Os maciços carbonáticos nos setores cársticos encontram-se associados a outros tipos de pacotes litológicos, com graus de porosidade e permeabilidade diferentes. No carste da Bacia Sergipe, os carbonatos são cobertos ou estão intercalados por arenitos, siltitos, folhelhos, conglomerados, brechas, argilitos e calcilutitos. Esse material intercalado acaba reduzindo os processos de carstificação, ou mesmo, impedindo o processo de dissolução do maciço subjacente.

Na área cárstica Olhos D'Água/Frei Paulo, os carbonatos e metacarbonatos estão intercalados com filitos siltosos, metarenitos, metasiltitos micáceos com lentes subordinadas de metargilitos, metagrauvacas, metaconglomerados, metacherts, quartizito e filitos intercalados com metarenitos. Todos esses materiais associados aos carbonatos criam verdadeiras barreiras para o processo de dissolução dos carbonatos, impedindo um desenvolvimento mais expressivo do endocarste.

Quadro 5.1 – Localização das Cavernas do Carste Tradicional em Sergipe.

	Município	Nome da Caverna	Longitude	Latitude
1	Poço Verde	Furna Caraíba	609563	8809933
2	Poço Verde	Buraco dos Besouros	609557	8809947
3	Poço Verde	Furna Zé de Aprígio	609511	8809963
4	Poço Verde	Furna do Gameleiro	609521	8809939
5	Poço Verde	Buraco do Vento	602261	8810136
6	Poço Verde	Toca do Maciço	609744	8809839
7	Poço Verde	Toca do Calango	609744	8809839
8	Poço Verde	Toca do Cansanção	609744	8809839
9	Poço Verde	Furna do Doutorado	609758	8809866
10	Poço Verde	Furna do Macedo	609758	8809866
11	Poço Verde	Furna do Chicaníbal	609758	8809866
12	Poço Verde	Furna da Rachada	609758	8809866
13	Poço Verde	Buraco do Ovo	609602	8809946
14	Poço Verde	Gruta do Caçador	609617	8809961
15	Poço Verde	Buraco do Perdido	609615	8809971
16	Poço Verde	Gruta da Cocó	609593	8809951
17	Poço Verde	Buraco Casa do Marimbondo	609581	8809998
18	Poço Verde	Furna das Epífetias	609574	8809989
19	Poço Verde	Furna da Dobra	609583	8809982
20	Poço Verde	Furna do Cansaço	609568	8809972
21	Poço Verde	Furna Dois por Um	609558	8809984
22	Poço Verde	Buraco do Cumpim	609545	8810004
23	Poço Verde	Abismo Poço Verde	609535	8809987
24	Poço Verde	Furna dos Três Caverneiros	609547	8809935
25	Poço Verde	Loca do Saco do Camisa	602967	8810754
26	Poço Verde	Furna da Ponta da Serra	601555	8810551
27	Poço Verde	Furna do João Bento	602795	8810085
28	Poço Verde	Buraco Sofrido	609630	8809920
29	Poço Verde	Abrigo do Dicuri	609619	8809938
30	Poço Verde	Buraco da Sombra	609607	8809935
31	Poço Verde	Toca da Busca	609676	8809971
32	Poço Verde	Furna da Cidra	609673	8809966
33	Poço Verde	Furna do Frade	609634	8809991
34	Poço Verde	Furna da Greve	609621	8810006
35	Simão Dias	Abismo de Simão Dias	632461	8809177
36	Simão Dias	Toca da Raposa	623216	8814641
37	Simão Dias	Furna do Brinquinho	622723	8812261
38	Simão Dias	Furna do Suspiro	629766	8820373
39	Simão Dias	Furna do Pau Ferro	630091	8818303
40	Simão Dias	Furna de Ailton	616637	8808207
41	Simão Dias	Furna do Tonho	617207	8807814

Continuação

42	Simão Dias	Furna do Bié	617374	8807929
43	Simão Dias	Carvena do Pórtico	633082	8816515
44	Simão Dias	Caverna do Cumbe	633046	8816471
45	Simão Dias	Caverna do Sacrifício	627941	8816954
46	Simão Dias	Gruta da Divisa Estadual	627874	8817007
47	Simão Dias	Toca da Fenda	627928	8816964
48	Simão Dias	Toca do Aperto	629760	8820366
49	Simão Dias	Furna do Sapo Grande	627021	8810208
50	Simão Dias	Furna do LP-GPME	633081	8816515
51	Simão Dias	Buraco da Serpente	626877	8809876
52	Simão Dias	Furna Cristina	627656	8809687
53	Laranjeiras	Toca do Outro Lado	700475	8804050
54	Laranjeiras	Toca das Coméias	700125	8803584
55	Laranjeiras	Gruta da Pedra Furada da Mussuca	705164	8804407
56	Laranjeiras	Gruta da Pedra Furada	699220	8803239
57	Laranjeiras	Gruta Maria Passava	699938	8803496
58	Laranjeiras	Gruta Raposinha	699587	8804034
59	Laranjeiras	Gruta dos Orixás	699665	8803553
60	Laranjeiras	Gruta dos Jesuítas	699243	8803274
61	Laranjeiras	Gruta do Tramandaí	700054	8803582
62	Laranjeiras	Gruta do Faleiro	698612	8805804
63	Laranjeiras	Toca da Raposa	699060	8803971
64	Laranjeiras	Gruta Matriana	699026	8805421
65	Laranjeiras	Gruta dos Morcegos	699588	8803016
66	Laranjeiras	Gruta Mimosinha	699594	8804022
67	Laranjeiras	Caverna do Túmulo	700130	8803593
68	Laranjeiras	Caverna do Lumo	699541	8803554
69	Laranjeiras	Caverna dos Aventureiros	698926	8805180
70	Lagarto	Caverna da Fumaça	641708	8784430
71	Lagarto	Toca das Araras	650943	8815066
72	Lagarto	Toca das Abelhas	651818	8810013
73	Lagarto	Caverna do Saboeiro	651813	8806672
74	Lagarto	Abrigo do Urubu Morto	651824	8806669
75	Lagarto	Caverna do Silêncio	651821	8806677
76	Lagarto	Gruta da Porta	651821	8806685
77	Lagarto	Gruta do Itororó	651441	8810362
78	Lagarto	Toca Cascata de Pedra	651939	8806891
79	Lagarto	Toca da Foca	651927	8806870
80	Lagarto	Toca da Tufa	651845	8806713
81	Lagarto	Abrigo da Escadinha	651823	8806646
82	Lagarto	Abrigo da Cachoeira	651807	8806661
83	Divina Pastora	Caverna Vassouras	703998	8817786
84	Divina Pastora	Caverna Vassourinhas	703968	8817789
85	Divina Pastora	Caverna do Urubu	700603	8812948

86	Divina Pastora	Caverna do Urubuzinho	700614	8813029
87	Divina Pastora	Gruta da Casa Grande	701866	8814247
88	Divina Pastora	Gruta do Bloção	701691	8814344
89	Divina Pastora	Gruta do Rubens	701698	8814368
90	Divina Pastora	Caverna do Sobe e Desce	700627	8813021
91	Divina Pastora	Toca do Buraco Raso	701739	8814354
92	Divina Pastora	Toca Centésima	703589	8817744
93	Macambira	Caverna da Cajazeira	655707	8819709
94	Macambira	Caverna dos Carcarás	655710	8819700
95	Macambira	Cavena das Cortinas	655709	8819697
96	Macambira	Caverna dos Arapuás	654536	8818910
97	Macambira	Gruta da Grota	653682	8819520
98	Macambira	Toca da Bromélia	655722	8819694
99	Macambira	Toca da Fratura	655711	8819686
100	Macambira	Toca das Barrigudas	654542	8818922
101	N ^a Sr ^a do Socorro	Caverna do Campinho	700080	8799066
102	N ^a Sr ^a do Socorro	Toca do Formigueiro	700192	8799118
103	N ^a Sr ^a do Socorro	Toca do Morcego Solitário	700183	8799124
104	N ^a Sr ^a do Socorro	Caverna do Tambores	699997	8798569
105	N ^a Sr ^a do Socorro	Caverna da Depressão	700329	8799300
106	N ^a Sr ^a do Socorro	Caverna do Pau Cruzado	700170	8799132
107	N ^a Sr ^a do Socorro	Caverna Duas Ferroadas	700151	8799146
108	Rosário do Catete	Furna do Catete	713506	8817459
109	Rosário do Catete	Caverna do Desgosto	713545	8817460
110	Rosário do Catete	Abrigo do Zito	715676	8820223
111	Rosário do Catete	Gruta Laranja Brava	715744	8820235
112	Rosário do Catete	Caverna da Chuva	715921	8820305
113	Rosário do Catete	Toca do Pacová	715691	8820195
114	Maruim	Caverna de Pedra Branca	704309	8808628
115	Maruim	Gruta Pedreira da Baixa	702239	8813901
116	Maruim	Toca Escorrega Morena	702271	8813905
117	Maruim	Caverna Corredor do Giro	702218	8813925
118	Maruim	Toca das Saúvas	702217	8813907
119	São Domingos	Furna do Flexeiro	650609	8811812
120	São Domingos	Furna das Duzentas Tarefas	650318	8812588
121	São Domingos	Toca do Vicente	651955	8806798
122	São Domingos	Furna do Botija	652789	8806581
123	Japarutuba	Caverna Casa do Caboclo	731592	8823858
124	Japarutuba	Toca das Vespas	731631	8823845
125	Japarutuba	Buraco do Tapajão	729646	8824129
126	São Cristóvão	Caverna Buraco do Padre	687870	8791526
127	São Cristóvão	Caverna Igreja dos Cachorros	688489	8792000
128	Campo do Brito	Caverna Casa de Pedra	669330	8801929
129	Canhoba	Abrigo Morador	723706	8882910

130	Capela	Toca das Orquídeas	715938	8841892
131	N ^a Sr ^a das Dores	Caverna da Pedra Feia	693687	8827175
132	Pinhão	Buraco Maltratado	640119	8830474
133	Siriri	Gruta Pedra do Morcego	709554	8827927

Elaboração: Heleno dos Santos Macedo e Luana Pereira Lima, 2018.

A ausência de um epicarste desenvolvido também se configura como um fator importante para a incipiência da espeleogênese no carste tradicional em Sergipe. O manto de alteração, os solos e os sedimentos são importantes para o processo de carstificação, pois se encontram em contato direto com as rochas carbonáticas, influenciando a circulação hídrica interna e a elaboração da morfologia rochosa coberta.

No carste da Bacia Sergipe, a pureza dos carbonatos, impedem que ocorra manto de alteração, pois os grãos dos minerais são totalmente dissolvidos, causando o desaparecimento das estruturas originais. Na área cárstica Olhos D'Água/Frei Paulo, a acumulação de resíduos insolúveis, normalmente encontrados em quantidades pequenas nos calcários em algumas das cavidades estudadas, como a sílica sob várias formas e os minerais de argila retraem o processo de carstificação.

Ainda em relação ao papel do epicarste para o desenvolvimento das paisagens cársticas sergipanas, percebe-se a baixa espessura das camadas pedológicas sobre os maciços calcários. Segundo Yuan (1991) são necessários entre 250 a 850 mil anos para a produção de 1 metro de espessura de solo para o carste tradicional de áreas tropicais. Já Lamouroux (1972), afirma que para formação de 30 cm de solo, são necessários 5 metros de rocha dura, contendo 2,2% de resíduo, sendo necessários de 50 a 100 mil anos para a formação dos solos. Percebe-se que a espessura dos solos nas duas áreas cársticas não são espessos, indicando que os processos de alteração das rochas não ocorreram de forma semelhante as principais áreas cársticas do Brasil, que possuem espessas coberturas pedológicas, como por exemplo, o Grupo Bambuí e o Grupo Una.

A topografia também se configura como um fator que impediu um maior desenvolvimento das cavidades naturais em Sergipe. As rochas carbonáticas estão em porções de baixa altitude (no carste da Bacia 60 metros em média e no carste Olhos D'Água/Frei Paulo uma média de 200 metros em relação ao nível de base geral). Essa característica, atua associada ao papel desempenhado pelo sistema de drenagem subterrânea, que devido ao baixo gradiente do relevo, não atua de forma turbulenta nas zonas subcutâneas, reduzindo assim, a aceleração dos processos de dissolução dos carbonatos.

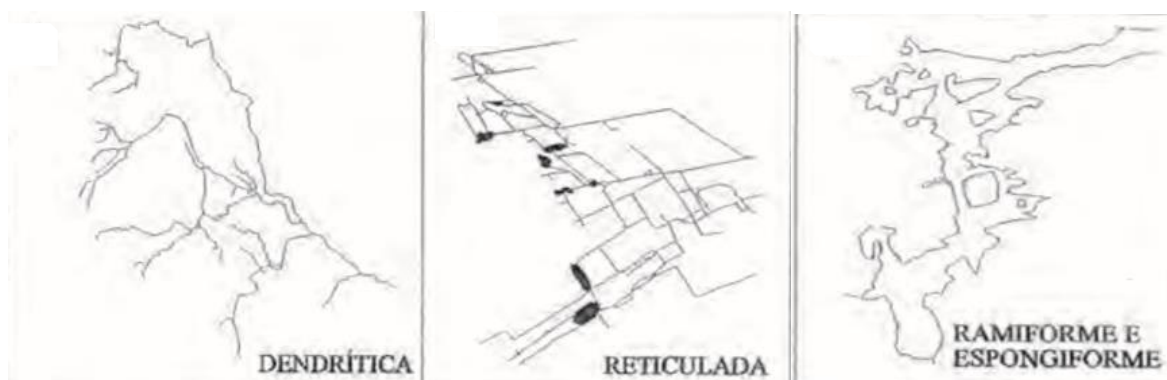
Uma outra característica das cavernas Sergipanas é atribuída por possuírem “teto baixo”. Essa característica resulta do tamanho dos maciços carbonáticos expostos na superfície, da ausência de uma eficiente ação hidrogeológica devido à proximidade da zona vadosa com o nível freático e da ausência de porosidade secundária, além de outros que impediram um desenvolvimento mais expressivo dos condutos e salões dessas feições nos Domínios geológicos.

As cavernas do carste sergipano podem ser classificadas como epigênicas. Cavernas epigênicas são aquelas geradas pelo fluxo de água a partir de zonas de recarga na superfície, oriundas de águas meteóricas (de chuva ou de rios superficiais). Nas cavernas epigênicas a água se infiltra no maciço rochoso a partir do exterior. A maneira como esta infiltração se dá é importante na definição do padrão das galerias. Não existem evidências, até o momento, para cavernas hipogênicas, que se formam devido à ação química de águas ascendendo em profundidade, ou acidificadas no interior do maciço rochoso.

As cavernas do carste tradicional de Sergipe se desenvolvem preferencialmente pelas linhas de fratura, com poucos exemplos de cavernas que se desenvolvem pelas linhas de acamamentos ou abatimentos dos materiais oriundos do maciço devido ao rebaixamento do nível freático e a formação de zonas vadasas.

As diversas formas de recarga da água, a estrutura da rocha, a direção de escoamento da água subterrânea, entre outros fatores, influenciou o padrão das cavernas. Em planta, após o levantamento topográfico, pode-se observar que a configuração espacial das cavernas tende a seguir determinados padrões. Observando a classificação de Palmer (1991) identifica-se 3 padrões planimétricos principais de cavernas: dendrítica, reticulada e ramiforme (Figura 5.1).

Figura 5.1 – Padrões planimétricos de cavernas.



Fonte: Ford (1991).

Cavernas dendríticas constituem o tipo mais comum. Consistem em um conduto de um rio (pretérito, com alguns casos de rios efêmeros ou ativos como é o caso da Gruta dos Aventureiros) com condutos laterais se unindo como tributários. As cavernas reticuladas possuem galerias condicionadas por fraturas, que se entrecruzam em ângulos determinados pela estrutura da rocha como Toca da Raposinha em Laranjeiras e as cavernas do maciço Caraíba em Poço Verde. O terceiro tipo é o de ramiforme que possuem condutos de perfil e seção irregular, se ramificando de forma errática como por exemplo a caverna da Fumaça em Lagarto.

Ford & Ewers (1978) propuseram um modelo espeleogenético que pode ser aplicado para interpretação das cavidades das áreas cársticas de Sergipe. De acordo com esse modelo, a densidade das juntas na rocha irá definir o tipo de caverna gerado. Em carbonatos dobrados com pequena densidade de juntas, o fluxo tenderá a seguir as poucas zonas de descontinuidade disponíveis, adotando um perfil com "loops" profundos. A medida que a densidade de juntas aumenta, a água poderá escolher rotas de fluxo mais retilíneas, culminando no caso de cavernas essencialmente planas que seguem o contorno do lençol freático. A maior parte das cavernas de Sergipe segue esse perfil.

No tocante aos depósitos de sedimentos nas cavernas sergipanas encontram-se os depósitos Alóctones (sedimentos clásticos) e os depósitos autóctones (sedimentos químicos). Os sedimentos alóctones são mais comuns e possuem origem fluvial e, principalmente, coluvial.

Os sedimentos clásticos presentes nessas feições podem ser classificadas, segundo Lladó (1970) como: caos de blocos (acumulação de material rudáceo de vários tamanhos com ou sem matriz argilosa) e, as vezes possuem matriz arenosa, como é o caso das cavernas de Rosário do Catete e Japaratuba; cones de dejeção, que ocorre a partir do acúmulo do material rudáceo com certa seleção gravitacional – os fenoclastos maiores estão na parte de baixo e os menores no alto, como acontece na caverna da Fumaça em Lagarto; cones centrais, depósitos de morfologia cônica situados nas porções onde ocorreram abatimentos; e corridas de blocos derivados de processos de solifluxão, afetando os tipos anteriores.

Já os sedimentos de origem autóctones, são em geral constituídos por cristais de calcita, quartzo, bem como por nódulos de sílex e outras partículas, como grãos de areia, silte, argila, liberados do calcário pela dissolução.

5.2 Espeleogênese no Carste tradicional da Bacia Sergipe e Olhos D'Água/Frei Paulo

Os processos de espeleogênese do carste em Sergipe são distintos. O carste Olhos D'Água/Frei Paulo apresenta uma evolução mais expressiva das feições endocársticas em comparação com o endocarste da Bacia Sergipe.

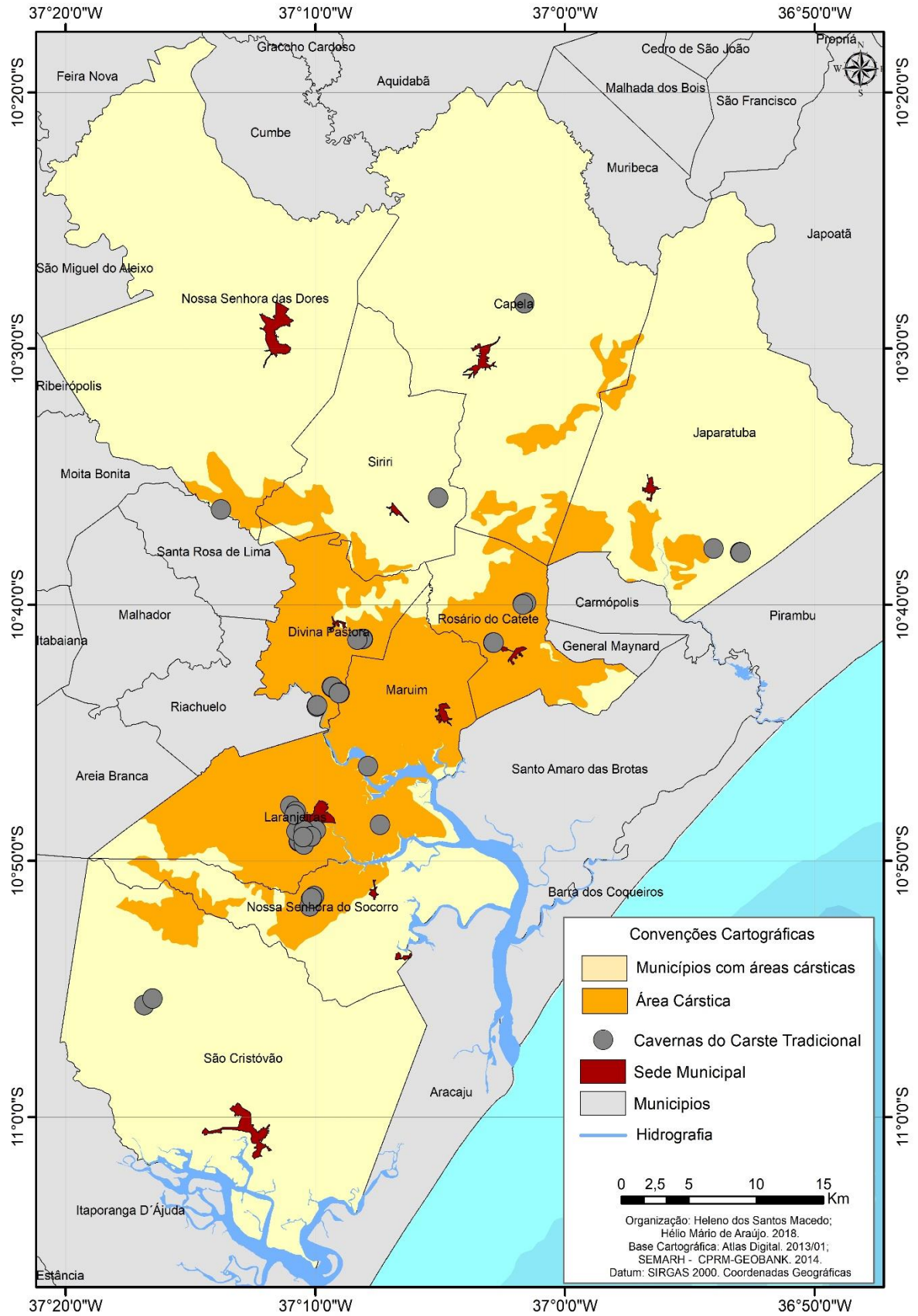
O carste da Bacia Sergipe possui 55 cavidades naturais distribuídas nos municípios de Capela, Divina Pastora, Japaratuba, Laranjeiras, Maruim, Nossa Senhora das Dores, Nossa Senhora do Socorro, Rosário do Catete, São Cristóvão e Siriri (figura 5.2). O carste Olhos D'Água /Frei Paulo possui 78 cavernas distribuídas nos municípios de Campo do Brito, Lagarto, Macambira, Pinhão, Poço Verde, São Domingos e Simão Dias (Figura 5.3).

O estágio inicial de formação dessas cavernas ocorreu em profundidade abaixo do lençol freático. A partir de canalículo de diâmetro milimétrico que se expandiu até atingir importante estágio de transição, denominada *breakthrough*, a partir do qual teve início o regime de um fluxo mais turbulento. No caso das cavernas do carste da Bacia Sergipe, esse processo pode ter iniciado no Neógeno na época do Pleistoceno médio e do carste Olhos D'Água/Frei Paulo no Neógeno no Plioceno, mas o desenvolvimento mais expressivo ocorreu na fase de *Breakthrough* durante o Quaternário. A partir da fase de *Breakthrough* as cavernas se desenvolveram mais rapidamente, até que, devido ao contínuo rebaixamento do lençol freático, fosse exposta à zona vadosa.

Após esta fase de ampliação horizontal das galerias e condutos subterrâneos, a dinâmica evolutiva dependerá do contexto geomorfológico. Em relevos estáveis ou associados a processos de soerguimento, como é o caso em Sergipe, o rebaixamento dos níveis de base local faz com que a expansão da caverna seja orientada por vetores gravitacionais (verticais) em ambiente vadoso (subaéreo). Este modelo evolutivo é denominado epigênese. Há evidências de que cerca de 90% das cavernas conhecidas no mundo tenham essa origem (Palmer, 2011) e a maior parte das cavernas sergipanas também. A partir desse estágio ocorre o processo de formação dos espeleotemas.

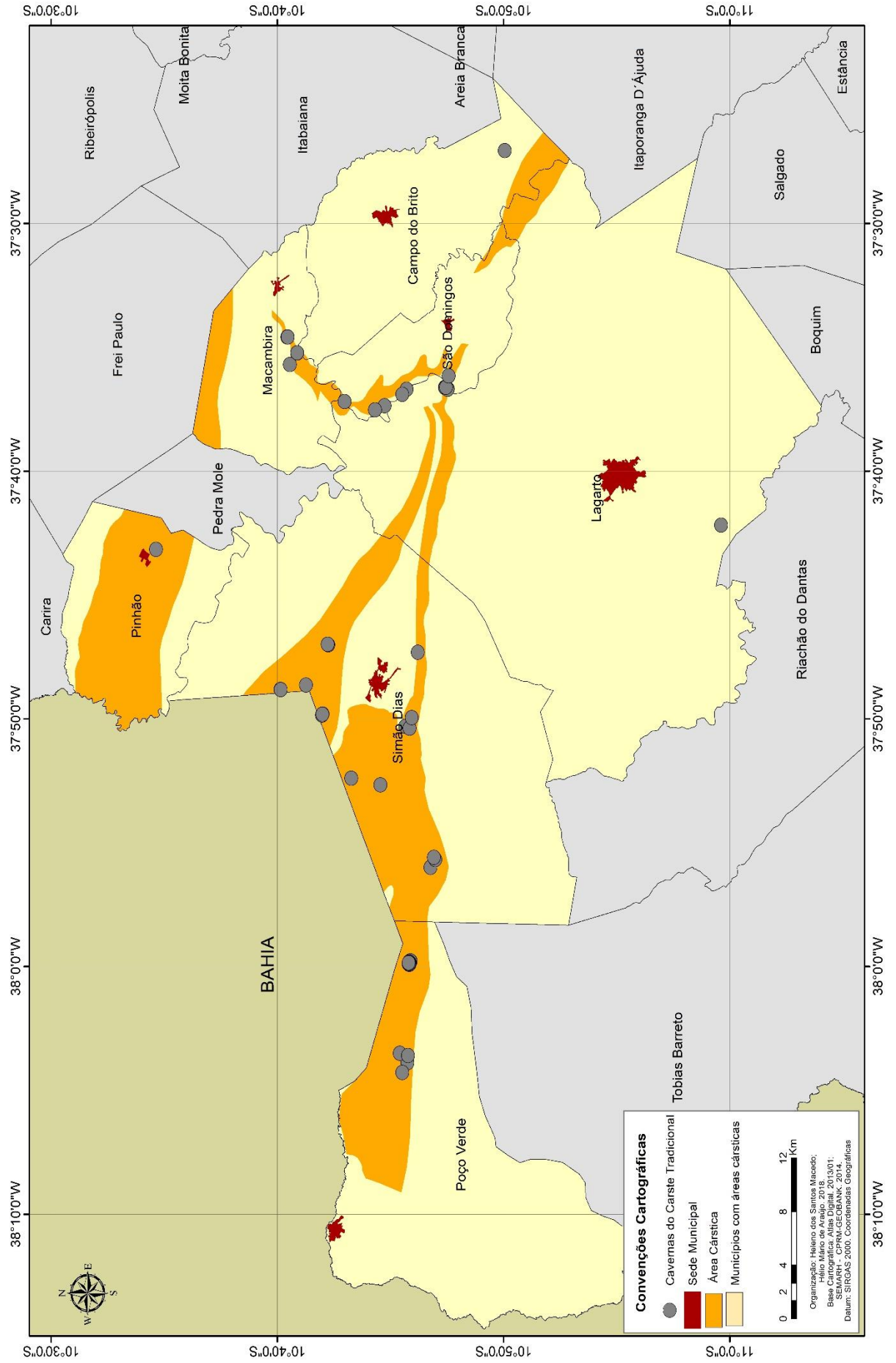
Por outro lado, se o sistema cárstico desenvolver-se em relevo deprimido, os condutos das cavidades tenderão a ser preenchidos pelo acúmulo progressivo de sedimentos, resultando em uma circulação de águas subterrâneas progressivamente ascendentes. Essa circulação resultará na escavação do teto das cavernas, que só cessará caso alguma mudança ambiental interrompa a dinâmica de acumulação, como eventos neotectônicos, por exemplo. Esse tipo de processo encontra-se em algumas cavidades do carste da Bacia Sergipe como a caverna de Pedra Branca em Maruim que apresenta a formação de cúpulas em todos os tetos da cavidade.

Figura 5.2 – Cavernas do Carste Tradicional Bacia Sergipe.



Elaboração: Heleno dos Santos Macedo, 2016.

Figura 5.3 – Cavernas do carte Tradicional Olhos D'Água / Frei Paulo.



Elaboração: Helene dos Santos Macedo, 2016.

As cavernas da Bacia Sergipe, possuem dimensões entre 6 a 204 metros de desenvolvimento horizontal, sendo a maior caverna dessa área cárstica a Gruta dos Aventureiros localizada no município de Iaranjeiras com 204 metros e de menor extensão a Gruta Maria Passava com 6 metros. As cavidades da unidade Olhos D'Água/Frei Paulo são mais desenvolvidas em projeção horizontal (entre 8 a 305 metros), possuindo, inclusive, a maior caverna de Sergipe, a Toca da Raposa no município de Simão Dias, com 305 metros de desenvolvimento horizontal.

No tocante a origem das cavernas, ou seja, quando elas começaram sua gênese, não é possível mensurar já que o material que deu origem aos vazios já foi removido durante os processos de dissolução. O que é passível de datação são os sedimentos clásticos ou químicos que preenchem as galerias. Para a datação a partir de sedimentos químicos, as cavidades do carste sergipano, apresentam uma quantidade de material incipiente e na grande maioria, já passaram por processos de redeposição química, não guardando os sedimentos químicos originais.

Os materiais clásticos presente nas cavidades, também não são ideais para a datação no intuito da obtenção da idade do processo de entalhamento da caverna. Isso ocorre, devido ao carilhamento constante de sedimentos dentro dos condutos das cavernas. Devido ao curto desenvolvimento horizontal e vertical das cavidades, os sedimentos são removidos constantemente pela precipitação meteórica (chuvas ou riachos efêmeros), não permitindo a formação de camadas que descrevam um processo evolutivo. Além disso, novos sedimentos são depositados sobre o material subjacente impossibilitando a obtenção de matérias mais antigas para uma datação precisa.

Este fato é comum nos setores cársticos, porém, no carste da Bacia Sergipe é mais acentuado, já que as cavidades possuem dimensões menos expressivas no tocante as suas projeções horizontais e verticais.

As cavernas Toca da Raposa, Gruta da Miaba e as cavidades do Maciço Caraíba, apresentam camadas mais expressivas de sedimentos clásticos e químicos. Isso ocorre devido o maior tempo de desenvolvimento das cavidades e as condições de precipitação dessa área serem escassas. Como os eventos de precipitação não são comuns, os processos de carilhamento de material detrítico não são constantes, fazendo com que as camadas de sedimentos permaneçam por mais tempo. Um outro fator que permite as formações de camadas de sedimentos nessas feições cársticas é desenvolvimento vertical das grutas, que possibilita o acúmulo de material ao longo do tempo, retardando o processo de substituição desse material por outros recém depositados.

Os depósitos químicos, ou espeleotemas, são os que ornamentam e dão beleza cênica à caverna. Compreendem centenas de formas de variados tamanhos, cor, textura, estrutura e mineralogia gerados por meio de processos de dissolução e precipitação. Podem ser classificados de diversas maneiras, mas a comumente utilizada é aquela em que considera o ambiente de formação. São três classes: 1) depósitos de águas circulantes/gotejantes; 2) depósitos de águas estagnadas; e 3) depósitos de exsudação. No entanto, a maioria dos espeleotemas é formada pela junção de mais de um destes tipos de processos, dificultando uma classificação exata. Os espeleotemas ocorrem tanto no teto (forma de cimeira), como nas paredes (forma parietal) e no piso da caverna (forma pavimentaria).

Nas cavernas do carste tradicional em Sergipe, os espeleotemas mais comuns são as estalactites, estalagmites, helectites, cortinas, colunas e concreções de piso em geral, que se formam a partir do gotejamento e/ou escorrimento e precipitação de solução rica em carbonato de cálcio (figura 5.4).

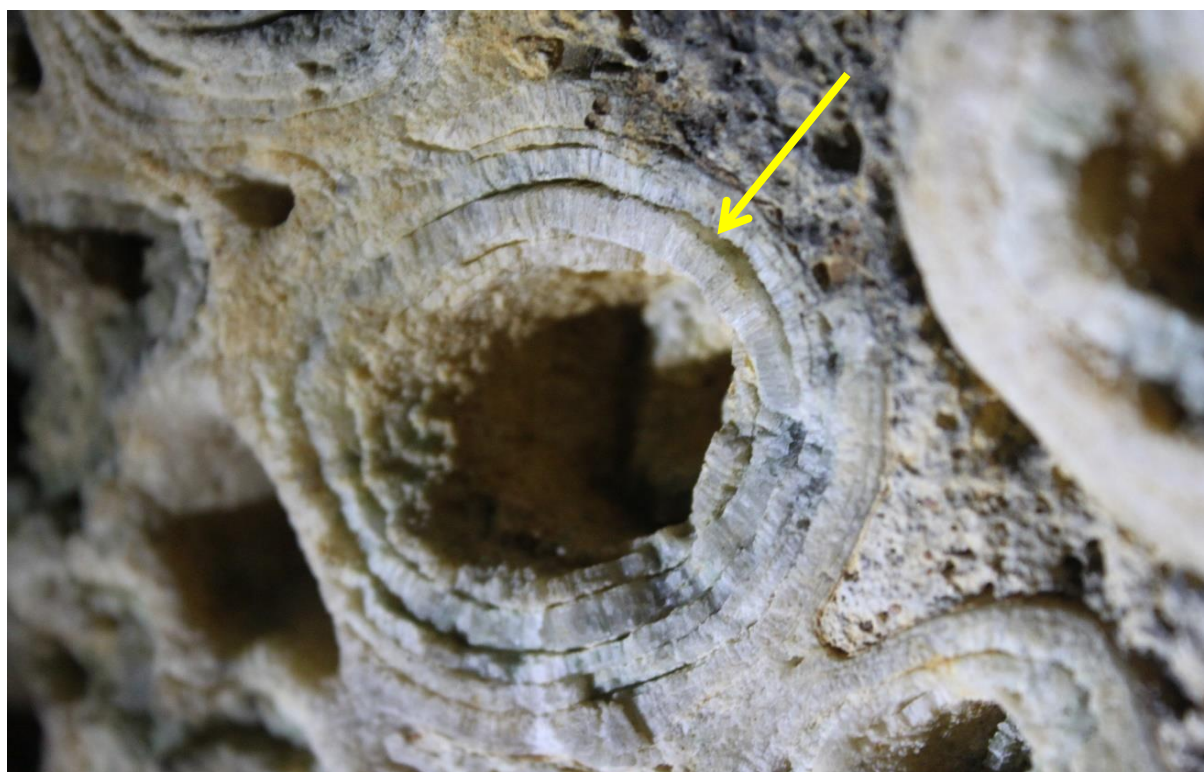
Figura 5.4 – Teto da Toca da Raposinha com espeleotemas do tipo helectites e estalactites.



Crédito: Heleno dos Santos Macedo, 2016.

Os minerais mais comuns são a calcita CaCO_3 e a aragonita, que é um polimorfo da calcita (apresenta a mesma fórmula química, mas hábito de cristalização distinto) – Figura 5.5. A coloração dominante é branca, com variações associadas à presença de outros minerais em solução. A presença de ferro resulta em espeleotemas alaranjados a avermelhados, manganês resulta em colorações variando do marrom ao preto-azulado, enquanto que óxidos de cobre geram espeleotemas de coloração azulada.

Figura 5.5 – Cristais de aragonita no espeleotema na Toca da Raposa em Simão Dias



Crédito: Heleno dos Santos Macedo, 2016.

Os espeleotemas do carste da Bacia Sergipe e Olhos D'Água Frei Paulo, podem ser classificados em função da velocidade, vazão da solução (f) saturação e pressão CO_2 , ou, através do processo deposicional.

Segundo a classificação de Montoriol & Thomas (1953) e Eraso (1963) há o predomínio do tipo fluxo (caudal), pois, a maior parcela dos espeleotemas presentes nas cavidades são as estalactites. Quando há pouco fluxo, as gotas da solução permanecem muito tempo no teto da caverna, propiciando o desenvolvimento desse tipo de espeleotema. Isso evidencia que no pretérito as duas áreas cársticas foram influenciadas por condições climáticas diferentes do presente (períodos úmidos que possibilitaram a formação de estalagmites e períodos mais secos, que formaram as estalactites) – Figura 5.6.

Figura 5.6 – Espeleotemas (estalactites, estalagmites e cortinas) na toca da Raposinha em Laranjeiras.



Crédito: Heleno dos Santos Macedo, 2016.

Quanto ao processo deposicional, classifica-se as cavidades do carste sergipano a partir de depósitos de águas circulantes (o fluxo aquoso ocorre por gotejamento, escorrimento e turbilhonamento, formando as estalactites, estalagmites, cortinas) e a partir de águas de exsudação (formadas por capilaridade, solução percolando nos poros da rocha e vazios intersticiais (como as helectites).

No carste da Bacia Sergipe são mais comuns as estalactites, estalactite do tipo canudo de refresco, cortinas serrilhadas e do tipo bacon, coraloides e, em três cavernas (Toca da Raposinha, Caverna do Urubu e do Urubuzinho), foram identificadas estalagmites. Essa ausência de estalagmites, está associada, também, a entrada frequente de fluxo meteórico nos

condutos dessas cavidades levando durante o escoamento as deposições do carbonato de cálcio que se encontram sobre o piso das cavernas.

Nessa área cárstica os espeleotemas ainda se encontram em atividade, ou seja, o processo de gotejamento e escoamento do carbonato de cálcio continua ativo. Em algumas cavernas foram observados processos de deposição química no piso, escoamento em paredes, e processos de redeposição sobre estalagmites (figura 5.7).

Figura 5.7 – Estalagmites recobertas por carbonato de cálcio na Toca da Raposinha em Laranjeiras



Crédito: Heleno dos Santos Macedo, 2016.

Na paisagem cárstica Olhos D'Água /Frei Paulo, os espeleotemas são mais abundantes e possuem dimensões mais expressivas. São encontrados estalactites de vários tipos como os canudos de refresco e serrilhados, cortinas, estalagmites, colunas, turfas calcárias (figura 5.8). A presença desses espeleotemas, a partir das suas dimensões, denunciam dois fatos sobre essa área cárstica: que seu processo de desenvolvimento é mais antigo em relação ao carste da Bacia Sergipe, e que no pretérito as condições do clima na região eram opostas as condições atuais, com maior precipitação e consequentemente, maior escoamento fluvial, entalhando com incisão os condutos dessas cavidades.

Figura 5.8 – Colunas na Gruta da Miaba em São Domingos.



Crédito: Heleno dos Santos Macedo, 2016.

Os processos de deposição continuam ativos, principalmente nas cavidades próximos as bordas do domo de Itabaiana, como é o caso da caverna Casa de Pedra na Ribeira no município de Campo do Brito e da Gruta do Flecheiro na Serra da Miaba no município de São Domingos. Nessas duas cavidades os processos de deposição química são bastantes acentuados e ocorrem durante todos os meses do ano (figura 5.9).

A quantidade acentuada de tipos de espeleotemas, bem como, os processos de deposição para formação de novos espeleotemas, podem ser explicados pela localização geográfica das cavidades e o grau de antropização das áreas em que se encontram ser bem

menor que nas cavidades do carste da Bacia Sergipe, já que este localiza-se em áreas de maior concentração urbana e industrial, acentuando assim, os processos de antropização.

Figura 5.9 – Escorrimento de CaCO_3 na Gruta da Miaba em São Domingos.



Crédito: Heleno dos Santos Macedo, 2016.

Nos setores cársticos, encontramos depósitos de origem biológica (biotemas). Esses biotemas são formados, principalmente, por depósitos oriundos de morcegos. O guano excretado pelos morcegos acaba sendo depositado sobre o piso ou sobre outros espeleotemas. A medida que esse material orgânico vai sendo depositado, carbonato de cálcio precipita sobre o material criando uma crosta resistente formando novos espeleotemas. Esse tipo é comum, principalmente, nas cavidades de Divina Pastora, Laranjeiras e Maruim.

Além da formação de espeleotemas, a fauna interage também nos processos de corrosão do material litológico. É comum nos tetos das cavidades do carste da Bacia Sergipe

encontrar cúpulas que possuem evidências da ação de atividades orgânicas (respiração e a excreção desses animais) no processo de dissolução do material (figura 5.10).

Figura 5.10 – Cúpulas no teto da caverna de Pedra Branca em Maruim.



Crédito: Heleno dos Santos Macedo, 2016.

Os espeleotemas de origem biológica mais comuns nessas áreas cársticas são os do tipo “leite de lua” (*Moon-Milk*) uma pasta de cor branca que quando seca se assemelha a giz e o salitre, de ação bacteriológica sobre os depósitos de morcego.

No processo de espeleogênese dessas cavidades também se observa a ação da erosão diferencial, que ocorre quando o processo erosivo acaba atuando de forma diferente sobre os minerais ou rochas que possuem tipos distintos de grau de erosividade. Os materiais mais resistentes à erosão acabam permanecendo enquanto que o material de menor grau de resistência ao processo erosivo acaba sendo transportado pelos processos de dissolução.

Os principais fatores para a ocorrência e erosão diferencial são intrínsecos à própria rocha, como, por exemplo, o tipo e a intensidade de cimentação, a porosidade primária e secundária do material, bem como, o tipo de entalhamento na qual a cavidade foi submetida mais intensamente (ação meteórica da precipitação ou de canais fluviais subterrâneos). Em todas as cavernas do carste tradicional de Sergipe, é perceptível a ocorrência desse processo

erosivo, como por exemplo, na Toca da raposa em Simão Dias, que apresenta camadas de sílica intercalados com os carbonatos da Formação Olhos D'Água (figura 5.11).

Figura 5.11 – Intercalações de sílica entre os carbonatos da Formação Olhos D'Água provocando processos de erosão diferencial na Toca da Raposa em Simão Dias.



Crédito: Heleno dos Santos Macedo, 2016.

Não são encontrados no carste tradicional em Sergipe espeleotemas dos tipos represas de travertinos, agulhas de aragonita e gispsita, flores de aragonita e gispsita, pérolas, vulcões, clavas, espigas, castiçais, bolhas de calcita, jangadas, cotonetes, cabelo de anjo, entre outros. Isso ocorre devido à ausência de fatores controladores do processo de carstificação, porém, os fatores primordiais estão atrelados ao pouco volume de água durante o processo de dissolução, a ausência de um epicarste desenvolvido, e a baixa saturação e pressão de CO_2 que também se configuram como fatores preponderantes para a incipiência, ou mesmo, ausência de vários tipos de espeleotemas nessas áreas cársticas.

5.3 Províncias Cársticas de Laranjeiras, Divina Pastora e Simão Dias

Para analisar a gênese das cavernas do carste tradicional em Laranjeiras, Divina Pastora e em Simão Dias deve-se considerar parâmetros essenciais para a formação das cavidades como a litologia, o grau de fraturamento das rochas e a dinâmica hidrogeológica dessas províncias cársticas.

São nessas três províncias que se encontram as maiores cavidades naturais de Sergipe. A maior parte das cavidades desses municípios já foram topografadas; realizados levantamentos bioespeleológicos, paleontológicos e arqueológicos. Nessas cavidades são perceptíveis impactos diretos provocados por diversas atividades humanas, tais como depredação de espeleotemas, descarte de resíduos sólidos e uso para manifestações culturais e religiosas.

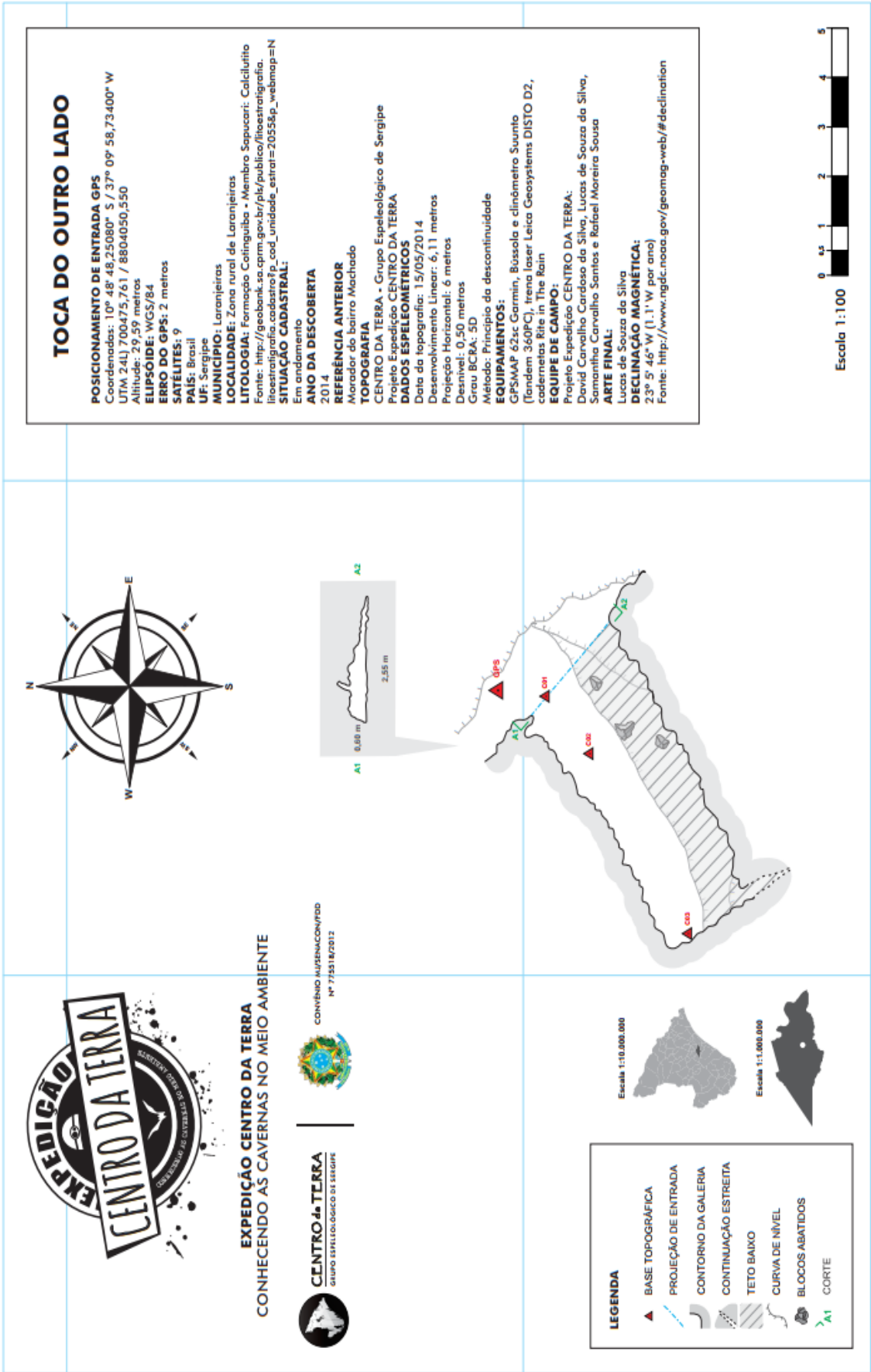
A província cárstica de Laranjeiras, até a realização do presente trabalho era a que possuía a maior quantidade de cavernas conhecidas. Esta província encontra-se no carste tradicional Bacia Sergipe. Nela encontramos 17 cavidades, entre as quais destacam-se as grutas do Tramandaí, Raposa, Matriana, Janela, Mimosinha; as Tocas do Outro Lado e das Colmeias e as Cavernas dos Aventureiros, Lumo e Túmulo, além da mais popular feição cárstica de Sergipe, a Gruta da Pedra Furada.

As cavernas em Laranjeiras, são caracterizadas como de teto baixo, curto desenvolvimento horizontal e vertical, condutos estreitos e poucos salões (Figura 5.12). Essa incipiência nas dimensões das cavidades é oriunda da intrínseca relação entre litologia, fraturamento e hidrogeologia já discutidas nesse trabalho. São cavidades que se encontram a pouco mais de 20 km da linha de costa, margeadas por importantes sistemas hidrográficos, no qual destaca-se a Bacia Hidrográfica do Rio Sergipe, na qual os rios que atuam no entalhamento do carste são afluentes. Além disso, o baixo gradiente de relevo, contribuindo ainda mais para um desenvolvimento não expressivo do endocarste.

Os espeleotemas dessas cavidades em Laranjeiras, na grande maioria, são constituídos de estalactites e cortinas. Sobre esses espeleotemas existe uma expressiva redeposição de carbonato de cálcio prejudicando o uso dos mesmos para levantamentos paleoclimáticos. As estalactites mais comuns são do tipo “*canudinho de fresco*” e cortinas do tipo “*Bacon*”. Nesta província cárstica encontramos um único exemplar de estalagmite, na Gruta da Raposa.

A província cárstica de Divina Pastora, desenvolve-se na margem esquerda do rio Sergipe. É constituída por 10 cavidades naturais na qual destaca-se a Caverna do Urubu, a primeira cavidade documentada em Sergipe (Figura 5.13).

Figura 5.12 – Mapa topográfico da Toca do Outro Lado em Laranjeiras



Crédito: Centro da Terra, 2014.

Além da Caverna do Urubu, destacam-se também as cavernas Vassouras, Vassourinhas, Urubuzinho, Sobe e Desce; as grutas da Casa Grande, do Bloção e do Rubens; além das tocas do Buraco Raso e da Centésima.

No tocante a morfometria das cavidades naturais dessa província assemelha-se aos processos ocorridos em Laranjeiras, com pequenas distinções, como por exemplo, a presença de cavidades com salões mais desenvolvidos (verticalmente e horizontalmente) e condutos mais amplos. Essas características podem ser atribuídas ao patamar altimétrico mais significativo, além da exposição do maciço carbonático ser mais expressiva.

A formação dessas cavidades ocorreu principalmente pelos processos de abatimento de blocos devido o rebaixamento do nível freático. Porém, os processos de dissolução também são evidentes nas cavidades, com a presença de scallops nas laterais de condutos e salões, seguindo o lineamento preferencial de falhas que condicionaram tal processo.

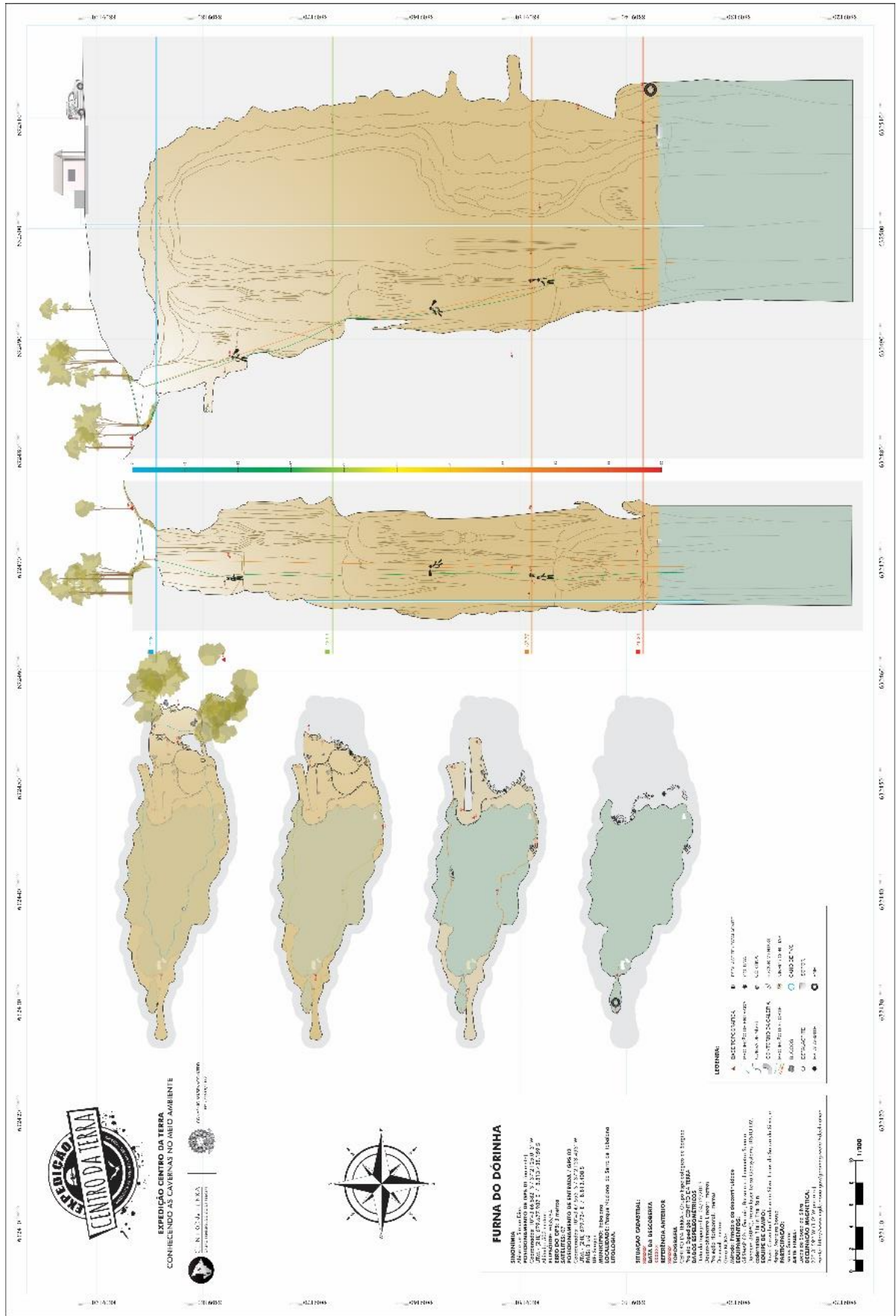
Os espeleotemas que formam essa unidade cárstica é constituído de estalactites e estalagmites, além de cortinas de vários tipos. A presença de estalagmites em Divina Pastora é mais comum, evidenciando que o processo de redução do nível freático e formação da zona vadosa é mais antigo que Laranjeiras. Os espeleotemas dessa província também foram recobertos por carbonato de cálcio e outros elementos através dos processos de percolação, dificultando o seu uso para datação paleoclimática.

Nas cavernas de Divina Pastora encontramos as principais “*BatCaves*” de Sergipe, cavernas que possuem grupos distintos de morcegos. Esses grupos são tão expressivos que são atribuídos a eles, processos diversos nas condições internas das cavidades, como a mudança do microclima local dos salões, e participação nos processos de dissolução na rocha devido a acidificação provocada por suas atividades biológicas.

A província cárstica de Simão Dias é constituída de 19 cavidades naturais, entre as quais, destacam-se as cavernas Toca da Raposa (a maior cavidade natural de Sergipe), Pórtico, Cumbé e do Sacrifício, as furnas do Brinquinho, Ailton, Bié e Pau Ferro e o abismo de Simão Dias, a mais popular feição cárstica do município, devido as lendas reportadas a ela (Figuras 5.14, 5.15 e 5.16).

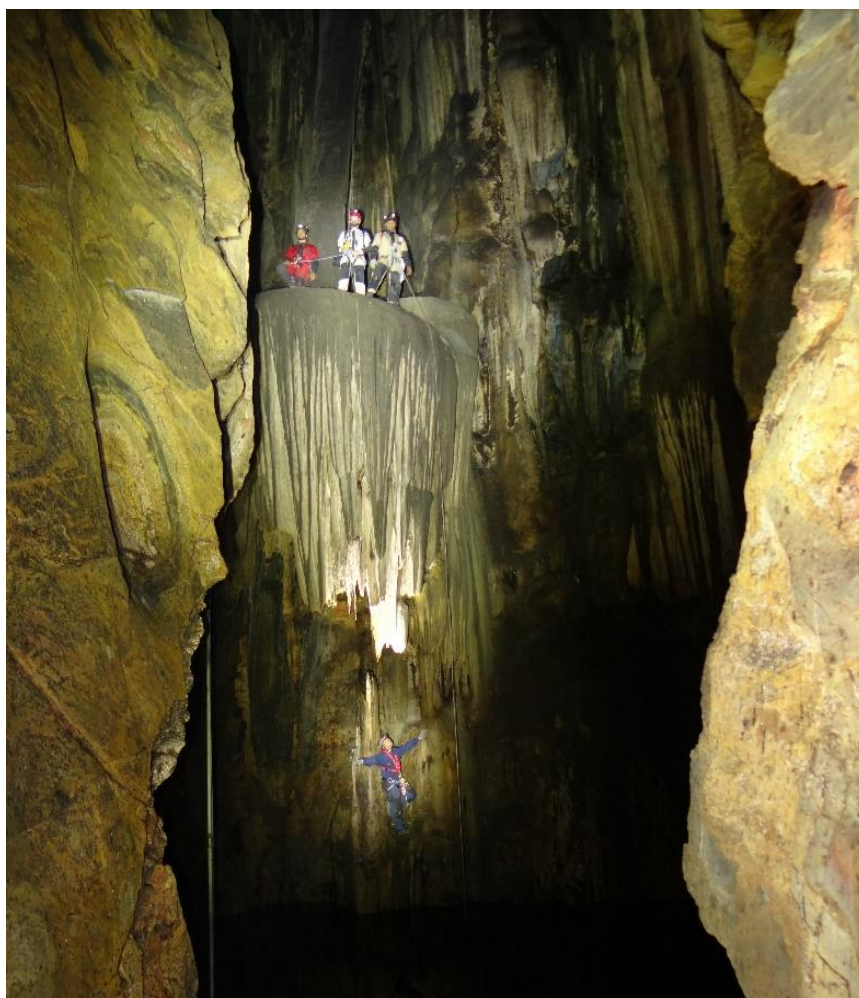
Essa província desenvolve-se no carste Olhos D’Água/Frei Paulo. Seus carbonatos foram depositados no Neoproterozóico, e os processos de morfogênese são mais expressivos em comparação com o carste Bacia Sergipe. Possuem cavidades com salões e condutos amplos, além de uma diversidade de feições como estalactites, estalagmites e cortinas.

Figura 5.14 – Mapa topográfico do abismo de Simão Dias.



Fonte: Centro da Terra, 2014.

Figura 5.15 – Abismo de Simão Dias.



Crédito: Isaias Santos, 2012.

Figura 5.16 – Acesso ao Abismo de Simão Dias.



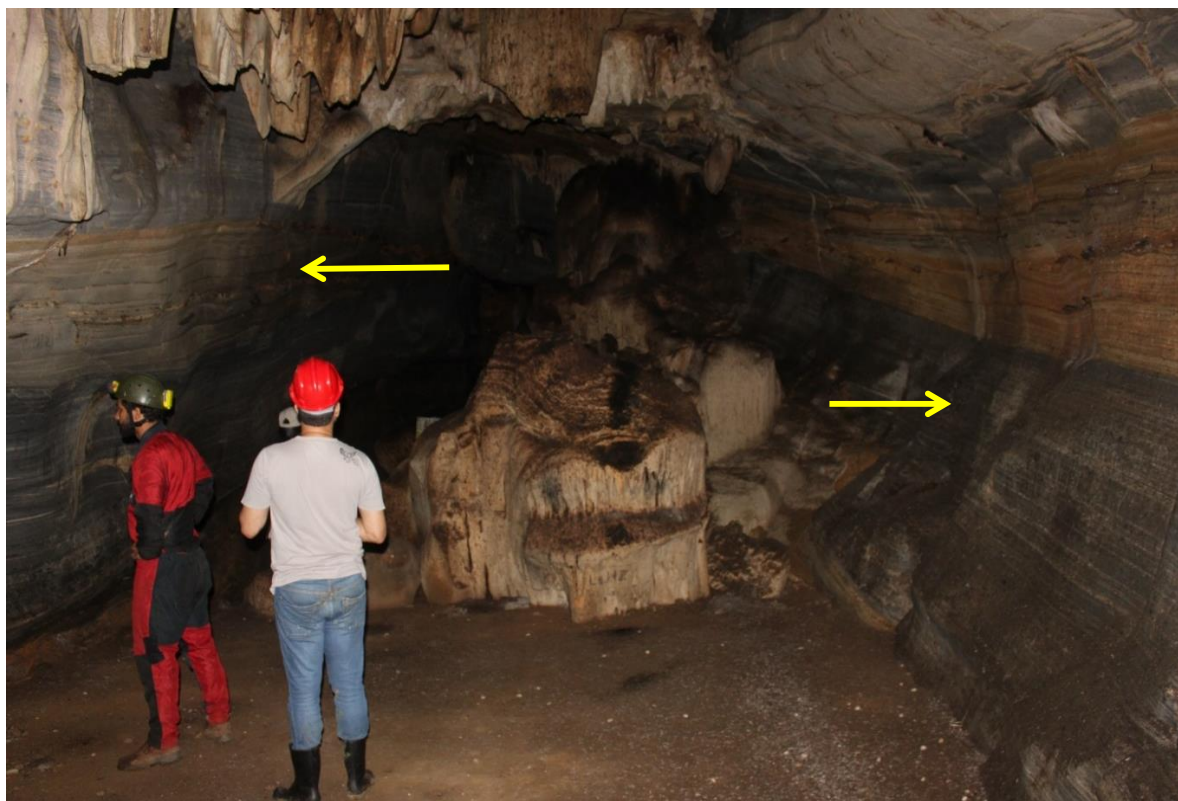
Elaboração: Heleno dos Santos Macedo, 2016.

O abismo de Simão Dias se desenvolveu a partir da linha de falha preferencial, atrelado aos processos de abatimento de blocos oriundos da redução do nível freático, que atualmente possui um nível hidrostático de 54 metros em relação a entrada do abismo. Em suas paredes são encontradas colunas de tamanhos diversos, além de estalactites encontrados em pequenos condutos laterais a linha principal de desenvolvimento do abismo.

A caverna Toca da Raposa, a maior cavidade natural de Sergipe com 305 metros de desenvolvimento horizontal, teve como fator desencadeador do seu desenvolvimento, os processos de dissolução oriundos do trabalho de entalhamento das águas subterrâneas, seguindo o lineamento da falha principal, evidenciados pelos diversos *scallops* presentes em suas paredes laterais (Figuras 5.17, 5.18 e 5.19).

Podem ser identificados também no processo de morfogênese da cavidade a presença de abatimentos de blocos e paleoníveis em vários setores ao longo da caverna. A presença desses paleoníveis também evidenciam as mudanças no nível freático/Zona vadosa ao longo da sua formação. Os principais espeleotemas são estalactites e cortinas, todas recobertas por carbonato de cálcio além de outros materiais adjacente da superfície. Nessa cavidade, além de calcita foram encontrados minerais de aragonita em algumas das feições que constituem a caverna.

Figura 5.17 – Evidências de desenvolvimento por fluxos na Toca da Raposa



Crédito: Heleno dos Santos Macedo, 2016.

Figura 5.18 – *Scallops* nas paredes da Toca da Raposa, evidenciando turbilhonamento no processo de escoamento subterrâneo.



Crédito: Heleno dos Santos Macedo, 2016.

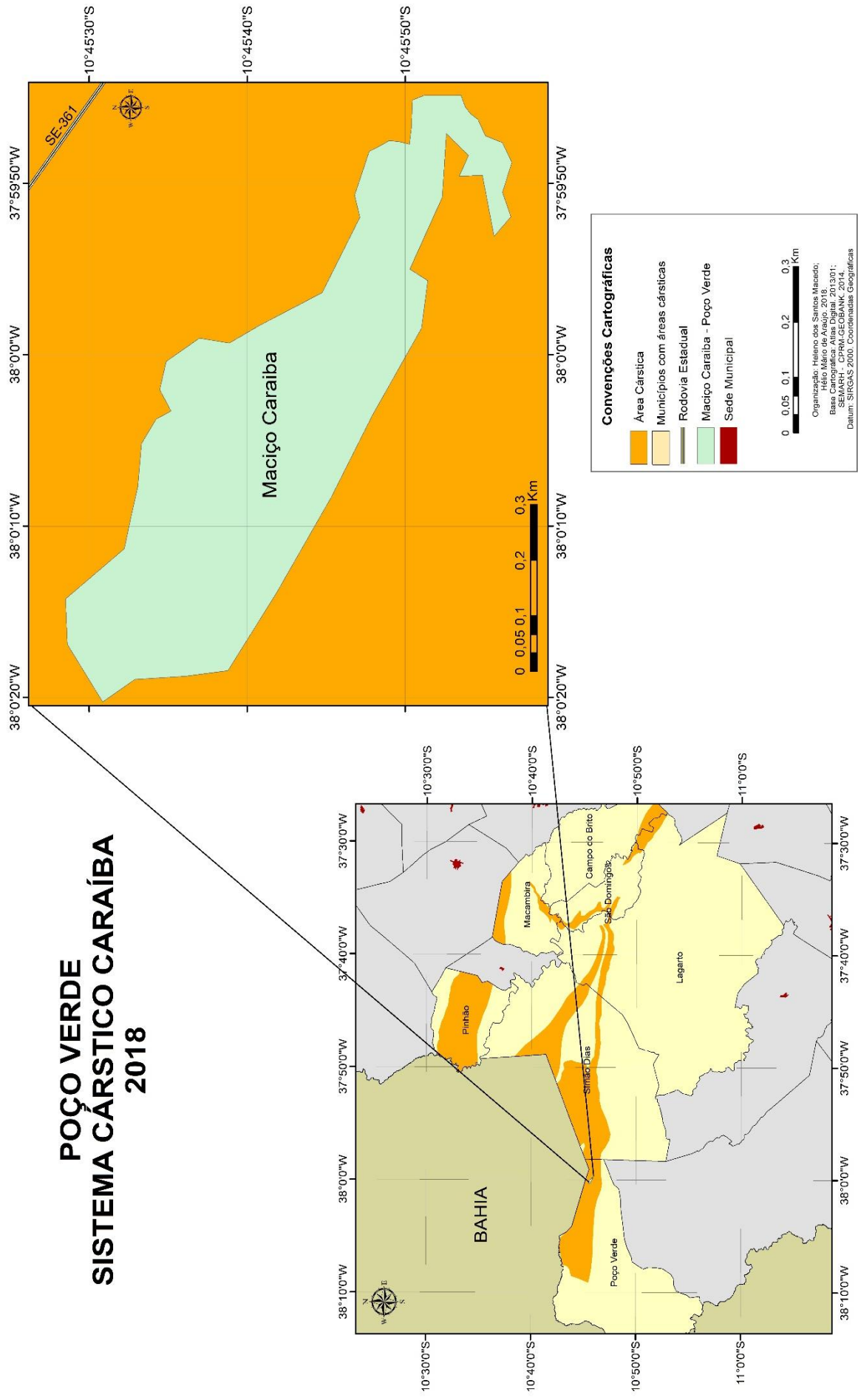
5.4 Sistema Cárstico do Maciço Caraíba em Poço Verde.

A maior província espeleológica de Sergipe encontra-se no município de Poço Verde. Foram identificadas 34 cavidades naturais, sendo dessas 17 furnas, ou seja, abismos, com desnível horizontal entre 8 a 15 metros, e 17 cavernas com projeção horizontal entre 07 a 60 metros aproximadamente (figura 5.20).

O sistema cárstico do Maciço Caraíba encontra-se no Domínio Vaza-barris na Formação Olhos D'Água. Constitui-se de carbonatos depositados no Neoproterozóico em ambiente de plataforma rasa e, retrabalhados durante os processos de *pré-rift* e *pós-rift*. Esses carbonatos são intercalados com filitos e metacherts, além de metaconglomerados e lentes de quartzito próximo ao contato com a Formação Palmares.

Figura 5.20 – Sistema Cárstico do Maciço Caraíba em Poço Verde

POÇO VERDE SISTEMA CÁRSTICO CARAÍBA 2018



Elaboração: Heleno dos Santos Macedo, 2018.

As cavernas do Sistema Caraíba não foram exploradas até o momento, devido à presença de animais peçonhentos, colmeias em quase todas as entradas das grutas. O que se percebe observando o maciço, que o processo de formação está vinculado ao mesmo contexto geológico do carste de Simão Dias, ou seja, tem seu desenvolvimento controlado pela atuação da tectônica regional. Zonas de cisalhamento rúptil se responsabilizaram pelo desenvolvimento de arranjos escalonados na rocha carbonática.

O que se pode ser identificado, a princípio, é que as cavernas dessa área cárstica evidenciam processos de paragênese, que podem ser utilizados para trabalhos de datação que expliquem quando iniciou os processos de entalhamento dos condutos (figura 5.21).

Figura 5.21 – Sedimentos de tamanhos diversos no piso da Furna dos Três Caverneiros evidenciando processo de paragênese.



Crédito: David Cardoso, 2016.

No tocante a espeleogênese, foram identificados espeleotemas diversos, tais como estalactites, helectites, estalagmites, cortinas e coraloídes. O processo de carstificação encontra-se ativo, porém, mais lento devido as condições climáticas atuais.

5.5 O Carste Não-Tradicional de Sergipe

Atualmente reconhece-se que a paisagem cárstica está presente em litologias diversificadas, não cabendo apenas aos processos de dissolução ocorrentes em rochas carbonáticas, conforme Travassos (2014), com diferenças no papel desempenhado pelo intemperismo químico e físico.

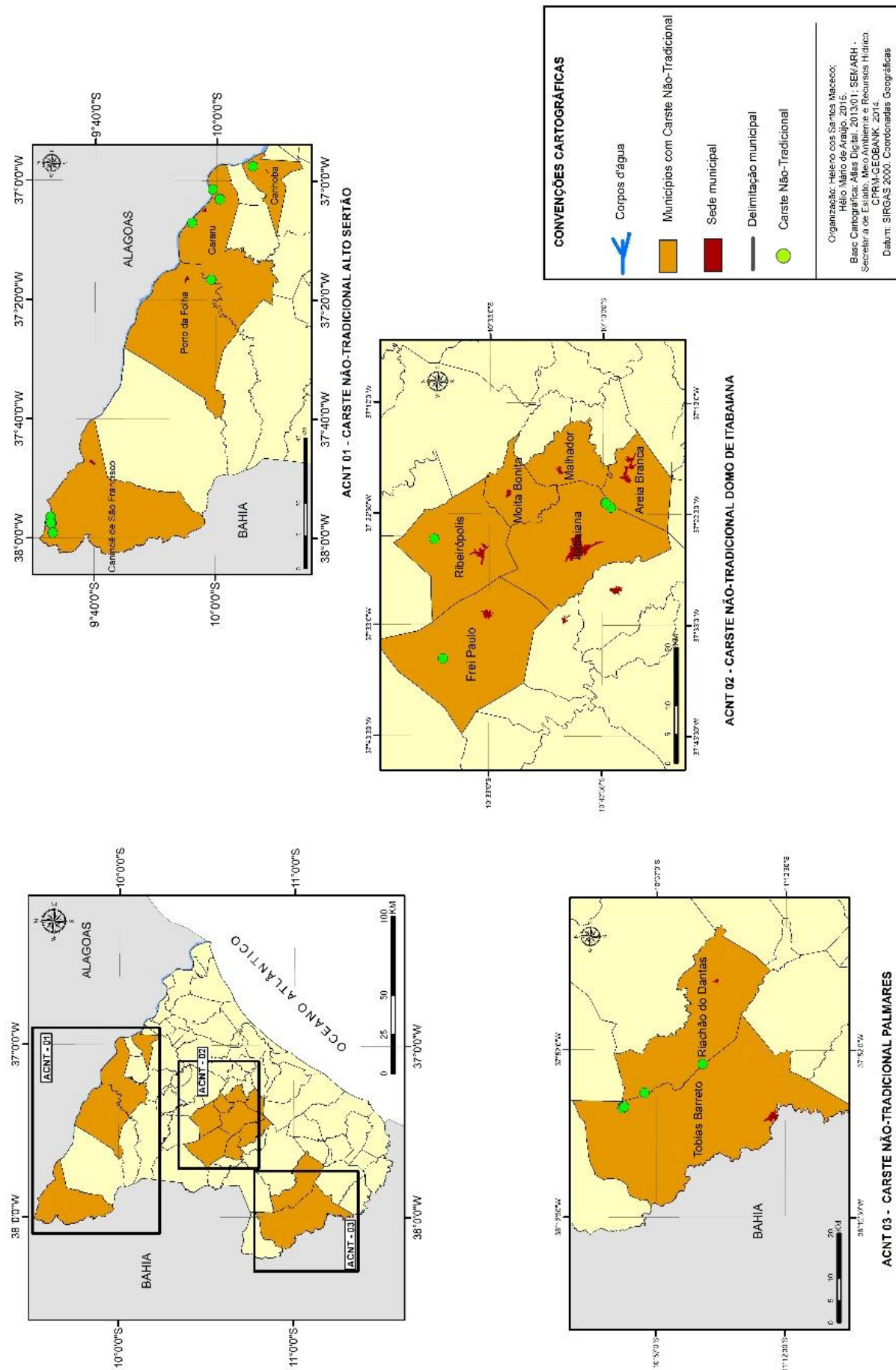
Os estudos espeleológicos revelam que são reconhecidas cavernas bem desenvolvidas em rochas como arenitos, quartzitos, gnaisses, micaxistos, basaltos, formações ferruginosas, rochas vulcânicas alcalinas, entre outras, indicando uma extensão do uso do termo aplicado a outras rochas, em que os processos espeleogenéticos não estão, seguramente, relacionados com dissolução (como ocorre nas rochas carbonáticas). Em rochas siliciclásticas predominam processos mecânicos. Enquanto nas rochas carbonáticas a porosidade primária não é recorrente, predominando a secundária (aquífero em meio fissural), nas rochas siliciclásticas a porosidade primária é regra (aquífero em meio poroso) (FREIRE *et al.*, 2017).

Por esse motivo, o modelado de relevo mencionado tem sido tratado como pseudocarste, do inglês *pseudokarst* (White, 1988; Urban e Oteska-Budzin, 1998; Bigarella *et al.*, 1994; Kohler, 2007; Hardt *et al.*, 2009; Suguio, 2010; Guareschi e Nummer, 2010; Simmert, 2010). De acordo com Simmert (2010), o termo pseudocarste foi citado pela primeira vez na literatura em 1906, pelo geólogo alemão Walter von Knebel, ao realizar uma análise dos fenômenos cársticos e descrever cavernas de lava vulcânica com suas estruturas semelhantes a espeleotemas pendurados no teto.

Na sequência à pesquisa de Knebel são registrados notórios trabalhos e eventos científicos que foram estabelecendo, em nível mundial, o uso do termo *pseudokarst*. Atualmente, a expressão pseudocarste vem sendo substituída pelo termo carste não-tradicional (HARDT, 2011).

Em Sergipe foram identificadas três áreas que possuem feições típicas do carste como lapiás, dolinas, cavernas e espeleotemas, desenvolvidas em outros tipos de litologias, como arenito, metagrauvaca, folhelho, granito, quartzito, entre outros. Essas áreas foram divididas em três setores: o carste não tradicional do Alto Sertão (nos municípios de Canindé, Porto da Folha, Gararu e Canhoba); o carste não-tradicional do Domo de Itabaiana (nos municípios de Itabaiana, Frei Paulo e Ribeirópolis) e no sul do estado o carste não-tradicional Palmares (nos municípios de Tobias Barreto e Riachão do Dantas) – figura 5.22.

Figura 5.22 – Carste não-tradicional de Sergipe



Elaboração: Helene dos Santos Macedo, 2018.

O principal tipo de feição cárstica identificada foram as cavernas, um total de 38, distribuídas nos municípios de Canindé de São Francisco (19), Gararu (5), Tobias Barreto (4), Itabaiana (3), Porto da Folha (2), Riachão do Dantas (2), Canhoba (1), Frei Paulo (1) e Ribeirópolis (1) – quadro 5.2.

Quadro 5.2 – Localização das cavidades do carste não-tradicional em Sergipe

Coordenadas - Cavernas do Carste Não-Traducional				
Nº	Município	Nome	Longitude	Latitude
1	Canindé	Laje do Mocó	614496	8944249
2	Canindé	Toca da Bela Vista	614435	8944433
3	Canindé	Toca dos Poucos Metros	614238	8944395
4	Canindé	Toca dos Garranchos	614222	8944391
5	Canindé	Toca da Rocha Arenítica	614180	8944348
6	Canindé	Toca do Lado da Perede de Baixo	614174	8944325
7	Canindé	Toca das Equilibristas	614134	8944261
8	Canindé	Toca das Três Toquinhas	614500	8944657
9	Canindé	Abrigo do Mirante	614539	8944766
10	Canindé	Abrigo dos Cipós	611382	8943830
11	Canindé	Toca da Cabaça	611404	8943821
12	Canindé	Gruta do Dominó	611384	8943795
13	Canindé	Gruta da Estratificação	611394	8943775
14	Canindé	Toca da Concha	611416	8943848
15	Canindé	Toca do Teto Baixo	614494	8944597
16	Canindé	Abrigo dos Marimbondos	614549	8944773
17	Canindé	Gruta do Rei	616339	8944536
18	Canindé	Toca das Macambira	614471	8944502
19	Canindé	Abrigo do Cândido	611384	8943838
20	Gararu	Abrigo Gararu	713777	8893024
21	Gararu	Abrigo Pedra do Diogo	713593	8892949
22	Gararu	Abrigo Vila Ruim	713566	8892940
23	Gararu	Abrigo Maria Pereira	716579	8895088
24	Gararu	Loca do Mané Peba	706402	8901442
25	Tobias Barreto	Toca dos Macacos	611073	8796815
26	Tobias Barreto	Toca da Onça	610994	8796692
27	Tobias Barreto	Toca do Riacho	610869	8796844
28	Tobias Barreto	Toca dos Palmares	611163	8796413
29	Itabaiana	Gruta do Encantado	678818	8812520
30	Itabaiana	Gruta dos Enganados	679677	8813438
31	Itabaiana	Toca Desenganada	679573	8813362
32	Porto da Folha	Toca da Drenagem	688922	8895617
33	Porto da Folha	Toca do João Pereira	688926	8895613

Continuação

34	Riachão do Dantas	Toca da Onça	614273	8791957
35	Riachão do Dantas	Abrigo Pau de Leite	620660	8779113
36	Canhoba	Abrigo Morador	723706	8882910
37	Frei Paulo	Toca da Onça	652824	8841287
38	Ribeirópolis	Abrigo Pilões	673482	8842743

Elaboração: Heleno dos Santos Macedo e Luana Pereira Lima, 2018.

O carste não-tradicional do Domo de Itabaiana é constituído por seis cavidades, distribuídas no maciço da serra de Itabaiana (as Gruta do Encantado e Enganados e a Toca Desenganada), na serra da Onça em Frei Paulo (Toca da Onça) e em Ribeirópolis, nas imediações da serra do Machado (Abrigo Pilões).

Essas cavidades se desenvolvem principalmente na Formação Itabaiana. A Formação Itabaiana, basal, constitui as principais elevações topográficas da região, com destaque para a serra de Itabaiana, a leste da cidade homônima, onde ocorrem abundantes afloramentos dos metapsamitos, típicos desta unidade.

Neste local, observa-se a não-conformidade que caracteriza o contato entre rochas ortognáissicas do embasamento, que aflora na parte central do domo, e metarenitos conglomeráticos com corpos lenticulares de metaconglomerados polimíticos suportados pela matriz da Formação Itabaiana (figura 5.23).

Figura 5.23 – Mergulho das camadas do metarenito na gruta dos Enganados na Serra de Itabaiana.



Crédito: Heleno dos Santos Macedo, 2016.

Figura 5.25 – Entrada da Gruta do Encantado



Crédito: Heleno dos Santos Macedo, 2016.

Figura 5.26 - Processos de erosão diferencial na Gruta do Encantado modelam as camadas do metarenito, criando novos espaços vazios no material rochoso.



Crédito: Heleno dos Santos Macedo, 2016.

A Gruta do Encantado possui espeleotemas como coraloides e escorrimentos serrilhados nas paredes, oriundos do processo de carstificação do metarenito. Porém, devido a composição mineralógica da rocha, o desenvolvimento desses espeleotemas são mais lentos e incipientes em comparação com cavidades de rochas carbonáticas (figura 5.27 e 5.28).

Figura 5.27 – Escorrimento do processo de dissolução do metarenito que deu origem a cortinas serrilhadas na gruta do Encantado.



Crédito: Heleno dos Santos Macedo, 2016.

O carste não tradicional do Alto Sertão encontra-se na faixa de dobramentos sergipana, mais precisamente nos Domínios Macururé, Poço Redondo e Bacia Tucano, na Formação Tacaratu.

As cavidades em Canindé de São Francisco estão na Formação Tacaratu. O nome da formação é derivado da serra de Tacaratu e da localidade homônima, situadas em Pernambuco. Ela aflora também no extremo-noroeste do estado de Sergipe, a noroeste e sudoeste de Canindé de São Francisco. Está depositada em não-conformidade sobre o Complexo Gnáissico-Migmatítico do embasamento e sotoposta às formações Inajá e Curituba. Seu contato com a

primeira é gradacional e com a segunda é discordante e sua espessura é, segundo Menezes Filho *et al.* (1988), impossível de avaliar. Está em contato falhado com a Formação Santa Brígida.

Figura 5.28 – Coraloides nas camadas do metarenito na gruta do Encantado.



Crédito: Heleno dos Santos Macedo, 2016.

De acordo com Ghignone (1979), a idade siluro-devoniana da Formação Tacaratu é sugerida por correlação com o Grupo Serra Grande da Bacia do Parnaíba, pois a formação é afossilífera. Sua constituição litológica é de Arenitos cinza-claro a branco, róseos, finos a grossos, com seleção regular a boa, grãos angulosos a arredondados, seixosos, com grãos de quartzo e frações subordinadas de feldspatos e minerais micáceos.

Estratificações cruzadas tabulares e acanaladas de porte médio a grande, com pavimentos de grânulos ou seixos nas bases dos conjuntos (figura 5.29). Além disso, percebe-se intercalações de conglomerados sustentados pelos clastos de quartzo arredondados, de tamanho grânulo a seixo, ocasionalmente imbricados, como pode ser identificado em algumas feições desse carste não-tradicional.

Figura 5.29 - Evidência de estratificação cruzada no abrigo do Cândido em Canindé.



Crédito: Heleno dos Santos Macedo, 2016.

As outras cavidades do carste não-tradicional do Alto Sertão, encontram-se nos Domínios Poço Redondo (Porto da Folha) e Domínio Macururé (Gararu e Canhoba).

O Domínio Poço Redondo constitui-se de uma sequência de ortognaisses tonalito-ranodioríticos e de paragnaisses subordinados, frequentemente migmatizados, denominados de Complexo Migmatítico de Poço Redondo, e por intrusões de granitóides tardios a pós-tectônicos. Limita-se a sul e norte através de zonas de cisalhamento contracionais oblíquas sinistrais de alto ângulo. A deformação é quase sempre registrada por dobramentos polifásicos desarmônicos, provavelmente, pré-brasileiros. O metamorfismo é da fácies anfibolito alto.

Este compartimento pode ser considerado como um terreno exótico, devido à dificuldade de ser estabelecida sua correlação com os demais domínios. Representa nível crustal mais profundo que todos os demais, soerguido pela tectônica compressional cujo transporte de massa foi dirigido de nordeste para sudoeste.

O Domínio Macururé caracteriza-se na faixa próximo ao município de Gararu e Canhoba pela presença de abundantes corpos de granitóides intrusivos, tardios a pós-tectônicos, é uma característica marcante deste domínio. Estas intrusões provocam metamorfismo de contato nos metassedimentos encaixantes e modificações nas estruturas pretéritas. Falhas

transcorrentes NE-SW são frequentes, por vezes controlando a colocação de diques básicos de espessuras métricas, provavelmente mesozoicos.

O arcabouço litológico constitui-se na associação litológica do Grupo Macururé, composta principalmente por biotita xistos granadíferos, com proporções de quartzo, e lentes de quartzitos miloníticos, de mármore e de rochas máfico-ultramáficas. Os contatos são gradacionais, localmente tectônicos, e são frequentes os redobramentos, tendendo a coaxiais, com uma fase tardia transversal. Estas feições estruturais mais regulares podem ser observadas ao longo da estrada de acesso Porto de Folha e Gararu. Nesses locais são comuns evidências de acamamento rítmico, com alternância de camadas centimétricas de cores e composições diferentes, geralmente argilosas e siltosas, como identificado em Canhoba (figura 5.30).

Figura 5.30 – Afloramento de filito em trecho de canal fluvial em Canhoba.



Crédito: Heleno dos Santos Macedo, 2016.

O Abrigo Morador, cavidade do carste não-tradicional presente em Canhoba, tem sua gênese atrelada ao abatimento de camadas sobrejacentes devido a incisão fluvial ocorridas no filito. Sua composição se caracteriza por apresentar intercalações argilosas e siltosas, além de cores diferentes (figura 5.31).

Figura 5.31 – Abrigo Morador em Canhoba.



Crédito: Heleno dos Santos Macedo, 2016.

Na Formação Tacaratu foram identificadas 19 cavidades. Todas formadas no arenito através de processos de corrosão e abatimento. Além de cavidades, nessa faixa cárstica, encontramos também feições semelhantes a lapiás, caneluras formadas pelas precipitações durante o escoamento superficial (figura 5.32).

A principal faixa cárstica no município se localiza na margem direita do rio São Francisco. A primeira faixa localiza-se no Vale dos Mestres, um canyon esculpido por um dos afluentes do rio São Francisco da margem direita, e a segunda faixa localiza-se na Fazenda Mundo Novo, o mais importante sítio arqueológico do estado.

No Vale dos Mestres, encontramos a principal cavidade natural do carste não-tradicional do Alto Sertão, a Gruta do Rei (figura 5.33). Desenvolve-se no arenito, e faixa de conglomerados, possuindo um desenvolvimento linear de 68,84 metros, com projeção horizontal de 31,15 metros e desnível: 13,15 metros. Formada a partir do abatimento de blocos, que se separaram devido a fatores mecânicos, permitindo a aceleração dos processos erosivos sobre o material litológico.

Figura 5.32 – Lapiás formadas no arenito da Formação Tacaratu em Canindé de São Francisco.

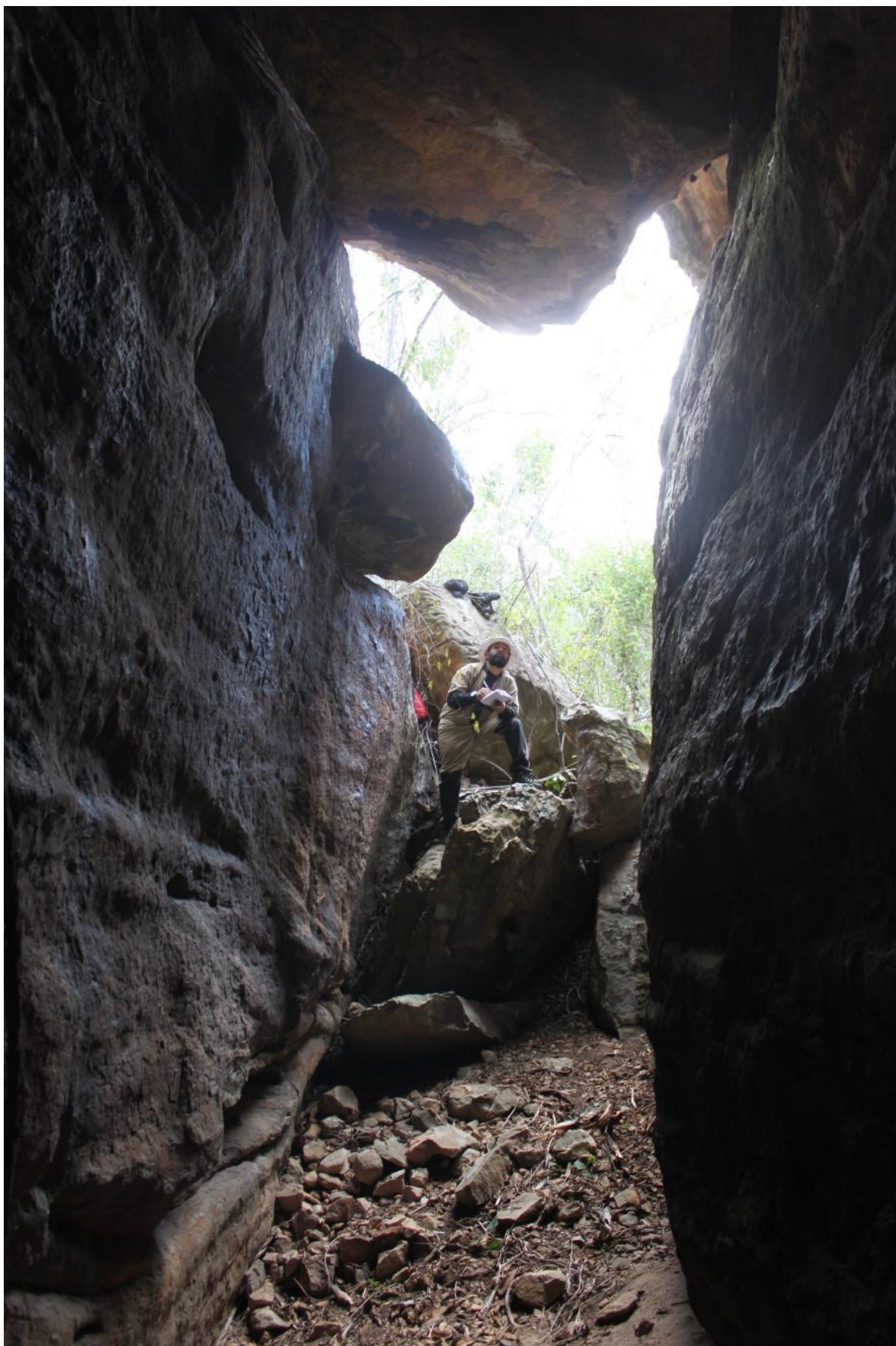


Crédito: Heleno dos Santos Macedo, 2016.

O principal espeleotema na Gruta do Rei são os pequenos coraloides derivados dos processos de carstificação de cristais de quartzo e outros minerais oriundos da sílica. Depósitos de origem biológica como salitre (derivados do guano de morcegos) também são identificados na cavidade (figura 5.34).

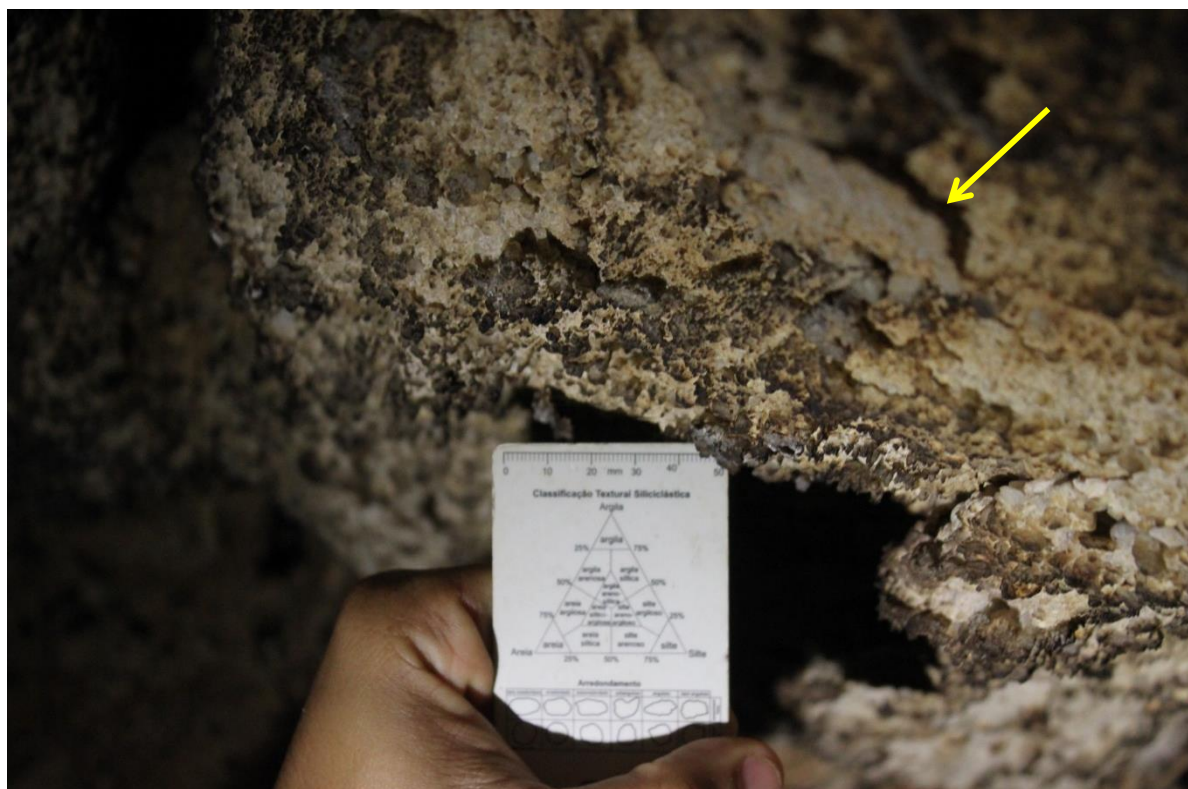
Outra característica dessa área cárstica é a presença de importantes sítios arqueológicos, indicando que, os primeiros grupos de humanos que ocuparam essa faixa de terra, utilizavam essas grutas e abrigos como moradia (figura 5.35). A Fazenda Mundo Novo, possui 09 cavidades desenvolvidas no arenito/conglomerado, e boa parte delas contém registros arqueológicos.

Figura 5.33 – Gruta do Rei em Canindé do São Francisco.



Crédito: Heleno dos Santos Macedo, 2016.

Figura 5.34 – Coraloides na Gruta do Rei em Canindé do São Francisco.



Crédito: Heleno dos Santos Macedo, 2016.

Figura 5.35 – Pinturas rupestres no Abrigo Cândido na Fazenda Mundo Novo.



Crédito: Heleno dos Santos Macedo, 2016.

Em Gararu foram identificados cinco abrigos desenvolvidos no granitoide. Esses abrigos têm sua origem a partir do processo de desagregação e acomodação de blocos de micaxistos sobrepostos, a partir do intemperismo físico e da penetração de raízes de xerófilas no plano de fratura das rochas. Nas paredes do abrigo é possível identificar processos de erosão diferenciada, criando camadas entre os blocos. O seu desenvolvimento linear é de aproximadamente oito a dez metros, apresentando em trechos do piso, blocos desagregados.

Esses abrigos contêm coraloídes em determinados pontos do teto, entre as fraturas e em algumas das paredes, revelando que o processo de dissolução e redeposição do material transportado foi ativo. O principal destaque em um dos abrigos é a presença de pinturas rupestres em pontos distintos no abrigo Pedra do Diogo (figura 5.36).

Figura 5.36 – Pintura rupestres no Abrigo Pedra do Diogo em Gararu.



Crédito: Heleno dos Santos Macedo, 2016.

O Abrigo Pedra do Diogo está localizado em um vale na forma de “U” bastante trabalhado por uma drenagem intermitente que desagua no riacho Maria Pereira um os afluentes da margem direita do rio São Francisco nesse município. No seu entorno, as vertentes, apresentam nas suas bases, rampas de colúvios, denunciando também, um intenso processo erosivo em decorrência da erosão pluvial e de possíveis drenagens que partem das encostas para o talvegue do vale. No entorno do abrigo, encontramos a presença de vegetação xerófitas (bem

diversificada), bastante degradada pela prática da pecuária bovina e caprina. Os blocos que formam o abrigo se localizam no terço-médio da vertente e no seu entorno existem outros blocos desagregados a partir do intemperismo físico e biológico. Se faz presentes grupos de coraloides oriundos do processo de carstificação do material litológico (figura 5.37).

Figura 5.37 – Coraloides no Abrigo do Diogo em Gararu.



Crédito: Heleno dos Santos Macedo, 2016.

A última área do carste não-tradicional localiza-se nos municípios de Tobias Barreto e Riachão do Dantas, foi denominada de carste não-tradicional Palmares, em alusão a Formação Palmares. Foram identificadas seis cavidades (abrigos) sendo 04 no município de Tobias Barreto e 02 no município de Riachão do Dantas.

A Formação Palmares não possui grande diversidade litológica, sendo constituída principalmente por grauvas e arenitos finos, feldspáticos, muito litificados, compactos, por vezes com lentes de conglomerados polimíticos desorganizados. Estes conglomerados possuem clastos de gnaisses, quartzo, quartzito, carbonatos, xistos e metabasitos. Rochas argilosas estão praticamente ausentes nesta formação, e a estrutura sedimentar preservada restringe-se quase sempre à estratificação plano-paralela, e raras estratificações cruzadas, compaleocorrentes no sentido sul (figura 5.38).

Figura 5.38 – Estratificação dos arenitos da Formação Palmares no Município de Tobias Barreto.



Crédito: Heleno dos Santos Macedo, 2016.

Alguns litótipos característicos ocorrem a nordeste e noroeste de Tobias Barreto, representados por metarenitos finos, cor cinza-escuro, muito litificados, com fragmentos angulosos de argilitos de cor marrom, geralmente milimétricos. Formam campos de matacões arredondados, facilmente destacados dos litótipos da Formação Lagarto.

Duas outras áreas de exposição são bem representativas, uma situada no rio Real, a sul de Tomar de Geru, e outra a norte de Tanque Novo em Riachão do Dantas.

A presença dos conglomerados e de Paleocorrentes dirigidas para sul levam à suspeição de que pelo menos parte da Formação Palmares tenha sido originada a partir do retrabalhamento tardio do orógeno, situado a norte.

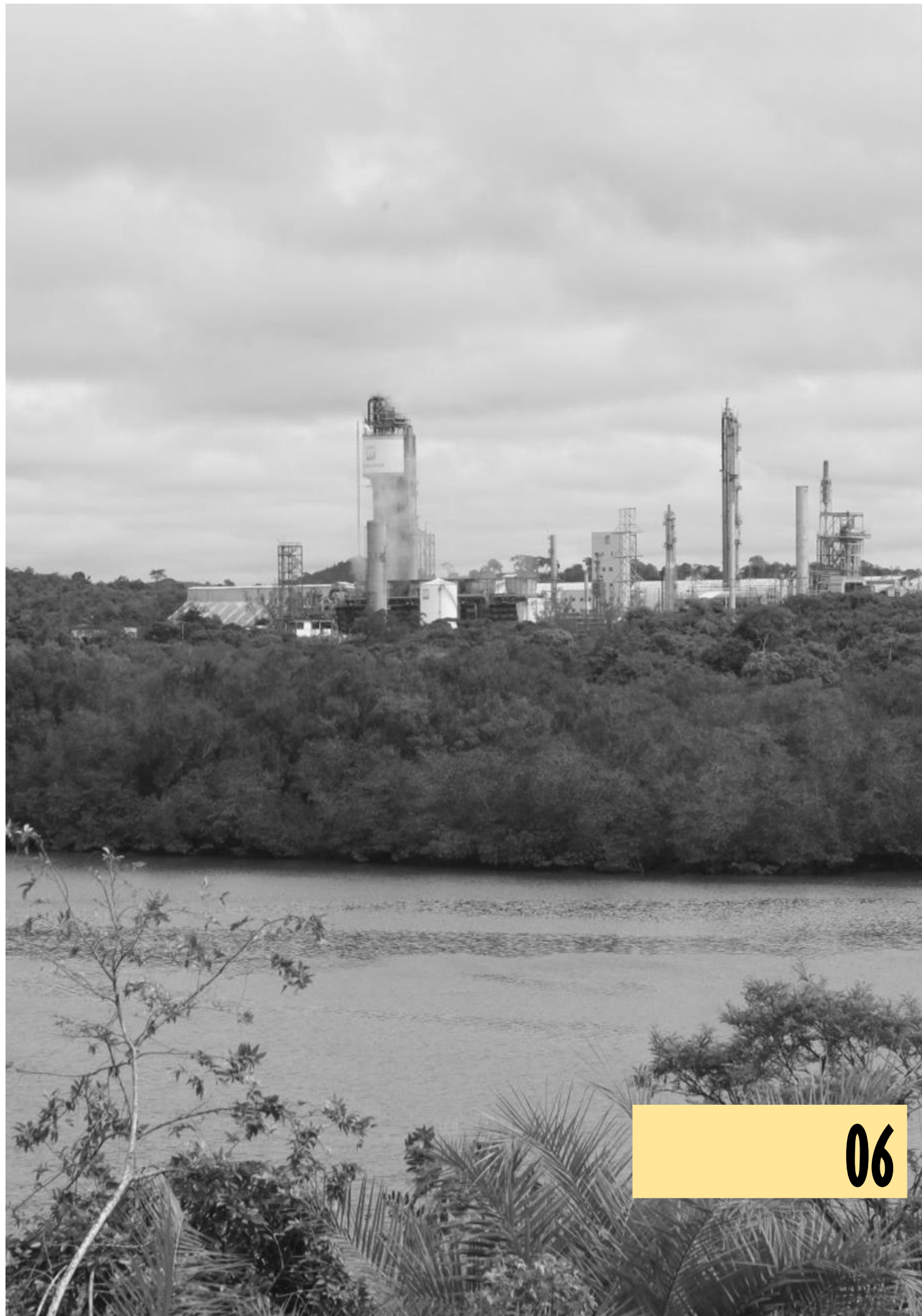
Saes & Vilas Boas (1986), por outro lado, estudando a parte sul da área de ocorrência desta formação, sugerem que a mesma foi depositada em ambiente tectonicamente instável, provavelmente sob forma de leques aluviais retrabalhados em planícies costeiras. Parte dos abrigos se desenvolveram a partir do abatimento de blocos derivados da ação mecânica, como é o caso da Toca dos Palmares (figura 5.39).

Figura 5.39 – Toca dos Palmares no Município de Tobias Barreto.



Crédito: Heleno dos Santos Macedo, 2016.

Nesses abrigos não foram encontradas evidências de ocupações humanas, através de registros rupestres nas paredes do material litológico. A presença de espeleotemas também são raros, evidenciando um clima mais seco quando comparado com as demais áreas do carste não-tradicional sergipano.



06. USO E OCUPAÇÃO DA TERRA NA PAISAGEM CÁRSTICA SERGIPANA

6.1 Área Cárstica Tradicional Bacia Sergipe

O Carste Tradicional da Bacia Sergipe ocupa a área de dez municípios dos territórios do Médio Sertão Sergipano, Leste Sergipano e Grande Aracaju. A paisagem nesses municípios encontra-se bastante alterada, principalmente no tocante a substituição da cobertura vegetal primária e secundária, por práticas como pastagens, agricultura, formação de aglomerações urbanas, extração de recursos minerais, locação da terra para implementação de distritos industriais, entre outros usos (Figura 6.1).

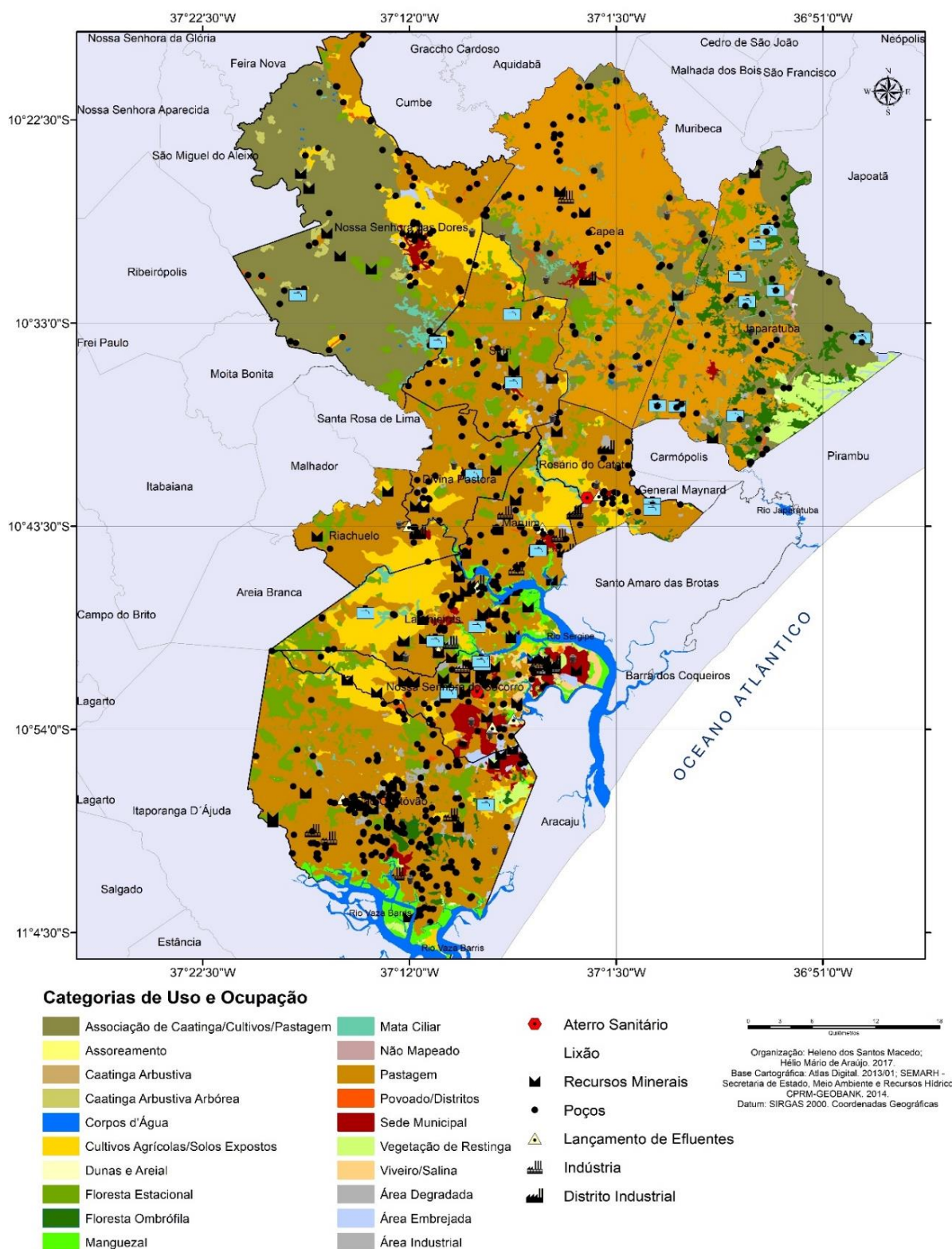
Esta, é a área de maior ocupação do carste sergipano. Em decorrência desse fato, é a área cárstica que apresenta os principais impactos provocados por uma ocupação desordenada ao longo das últimas décadas. Suas características naturais, no tocante a abundância de minerais não-metálicos, o processo histórico de colonização do estado e mais recentemente sua aproximação com Aracaju, capital e principal cidade de Sergipe na concentração de bens e serviços, faz desses municípios, áreas que atendem com mão de obra ou cidade dormitório a demanda ofertada por Aracaju.

A maior porção da sua paisagem é ocupada pela prática da pastagem, principalmente para a criação de gado e práticas de cultivos agrícolas, com destaque para a cana-de-açúcar, que tem como principal destino atender a produção de açúcar e álcool para o mercado interno e os estados circunvizinhos.

Essa área cárstica destaca-se também, por possuir a maior concentração de indústrias do estado de Sergipe, em seus diversos tipos, desde produtos de base, como grandes empresas da extração mineral, indústrias de bens de produção duráveis e não duráveis, que se encontram nos municípios de Nossa Senhora do Socorro, Laranjeiras, Maruim, Rosário do Catete, São Cristóvão e Capela. Entre as grandes empresas, destacam-se a PETROBRÁS, na extração de petróleo e gás natural, a companhia Vale S.A na extração de potássio e a Votorantim no processo de beneficiamento do calcário.

A pressão social e econômica, acabada atingindo de forma direta os elementos naturais, como as águas superfícies e subterrâneas, tornando-as em boa parte dessa área cárstica, imprópria para o consumo humano devido a impactos provenientes do lançamento de efluentes e o uso excessivo de agrotóxicos pelos diversos setores da economia que atuam sobre essa paisagem.

Figura 6.1 – Área Cárstica Bacia Sergipe - Uso e Ocupação da Terra - 2018.



Elaboração: Heleno dos Santos Macedo, 2018.

6.1.1 Dinâmica populacional

Nesses municípios residem, de acordo com último censo do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – (IBGE) realizado em 2010, uma população total de 376.692 mil habitantes, sendo 311.247 mil nas zonas urbanas e 65.445 nas zonas rurais. Os Municípios de Nossa Senhora do Socorro, São Cristóvão, Capela e Laranjeiras são os que apresentam as maiores populações, respectivamente, no carste tradicional da Bacia Sergipe, enquanto, os municípios de Siriri e Divina Pastora são os que possuem os menores contingentes populacionais nessa área (Tabela 6.1).

Tabela 6.1 – Carste Tradicional da Bacia Sergipe – População total, urbana e rural – 2010.

Municípios	População total (mil/hab.)	População rural (mil/hab.)	População urbana (mil/hab.)
Capela	30.761	11.019	19.742
Divina Pastora	4.326	2.227	2.099
Japaratuba	16.864	8.961	7.903
Laranjeiras	26.902	5.645	21.257
Maruim	16.343	4.302	12.041
Nossa Senhora das Dores	24.580	8.553	16.027
Nossa Senhora do Socorro	160.827	5.004	155.823
Rosário do Catete	9.221	2.712	6.509
São Cristóvão	78.864	12.199	66.665
Siriri	8.004	4.823	3.181
Total	376.692	65.445	311.247

Fonte: PNUD, 2018.

Elaboração: Heleno dos Santos Macedo, 2018.

Os municípios em questão apresentaram um crescimento considerável no total da população nos últimos anos segundo o IBGE (2010). Em 1991 a população total desses municípios era de 221.055 mil habitantes, passando para um total de 315.891 e 376.692 nos censos de 2000 e 2010 respectivamente, um crescimento de 70,40% no período (Tabela 6.2).

O município de Nossa Senhora do Socorro foi que apresentou o maior crescimento no período, saindo de um total de 68.285 mil habitantes em 1991 para uma população de 160.827 em 2010, um aumento de 135,52%, um dos maiores crescimentos do Brasil. Nas últimas décadas, Nossa Senhora do Socorro passou a ser a principal área de atração populacional no entorno de Aracaju, principalmente, devido a implementação ou melhoria em setores estratégicos como transportes e a instalação de um importante parque industrial, além da implementação de vários conjuntos habitacionais, construídos para atender à crescente

demanda por habitação desencadeada pelo crescimento da região metropolitana a qual está inserida.

Tabela 6.2 – Carste Tradicional da Bacia Sergipe – Crescimento Populacional – 2018.

Municípios	População total 1991	População total 2000	População total 2010	Taxa de crescimento (%)
Capela	25.105	26.518	30.761	22,53
Divina Pastora	2.645	3.266	4.326	63,55
Japaratuba	13.004	14.556	16.864	29,68
Laranjeiras	18.233	22.750	26.902	47,54
Maruim	14.683	15.454	16.343	11,30
Nossa Senhora das Dores	19.606	22.195	24.580	25,36
Nossa Senhora do Socorro	68.285	132.489	160.827	135,52
Rosário do Catete	5.639	7.102	9.221	63,52
São Cristóvão	47.558	64.647	78.864	65,82
Siriri	6.297	6.914	8.004	27,10
Total	221.055	315.891	376.692	49,20

Fonte: PNUD, 2018.

Elaboração: Heleno dos Santos Macedo, 2018.

O município de São Cristóvão apresentou um crescimento de 65,82% no intervalo 1991/2010, impulsionado sobretudo pelo setor imobiliário, devido a saturação no processo de ocupação urbana do solo no município de Aracaju. O município possuía uma população total em 1991 de 47.558, e em 2010 de 78.664 habitantes (IBGE, 2010).

Os municípios de Rosário do Catete e Divina Pastora tiveram crescimento populacional de 66% entre 1991 a 2010, impulsionados pela implementação de importantes indústrias de base, além de empresas que beneficiam o calcário para diversos setores da economia.

O município de Maruim apresentou a menor taxa de crescimento ao longo do período, 11, 30%, possuindo uma população total em 1991 de 14.683 e em 2010 de 16.343 mil habitantes. Atribui-se essa redução ao fechamento de importantes unidades fabris, que optaram por se estabelecer em municípios vizinhos devido a benefícios fiscais oferecidos.

Com um crescimento constante nas últimas décadas da população desses municípios, torna-se necessário a ampliação das frentes de trabalho em todos os setores da economia no intuito de atender essa crescente demanda, porém, essa ampliação acarretará novos impactos na dinâmica dos elementos naturais que compõem a paisagem desses municípios.

6.1.2 Atividades Econômicas

No que pese as atividades econômicas, verifica-se que a maior parcela da população em idade economicamente ativa se encontra nos setores de serviços, agropecuário, construção civil e comércio. Já os setores relacionados a Indústria de transformação, serviços industriais de utilidade pública (SIUP) e o extrativo mineral, são os que absorvem a menor parcela da população adulta empregada nesses municípios (Tabela 6.3).

Tabela 6.3 – Carste Tradicional da Bacia Sergipe - Taxa de ocupados por setores – 2018.

Municípios	Agropecuário (%)	Extrativo mineral (%)	Indústria de transformação (%)	SIUP (%)	Construção (%)	Comércio (%)	Serviços (%)
Capela	30,26	0,59	9,39	1,61	9,34	9,17	32,47
Divina Pastora	16,21	2,42	4,91	0,62	11,18	5,73	55,24
Japaratuba	28,81	1,23	4,63	0,97	9,31	6,78	39,95
Laranjeiras	8,83	0,69	14,6	1,32	12,09	8,37	43,41
Maruim	18,97	4,93	9,64	1,91	12,2	10,92	35,78
Nossa Senhora das Dores	32,85	0,23	7,85	1,16	5,89	16,43	31,39
Nossa Senhora do Socorro	2,48	0,73	8,24	1,02	11,77	20,04	48,95
Rosário do Catete	13,12	9,67	2,65	0,96	9,81	5,84	48,81
São Cristóvão	11,12	0,74	5,14	1,42	10,75	16,85	48,39
Siriri	25,2	1,88	14,8	0,7	11,31	7,08	35,02

Fonte: PNUD, 2018.

Elaboração: Heleno dos Santos Macedo, 2018.

Nossa Senhora das Dores e Capela são os municípios que possuem a maior parte da sua mão de obra ocupada nas atividades agropecuária com 32,85% e 30,26% respectivamente. A população ocupada no extrativismo mineral, está entre os municípios de Maruim e Rosário do Catete com as maiores taxas no carste da Bacia Sergipe sendo 9,67% para Maruim e 4,93% para Rosário do Catete.

A construção civil, a prestação de serviços e o comércio, somados, são os setores que possuem a maior parcela da população ocupada. Maruim apresenta a maior porcentagem de mão de obra locada na construção civil (12,2%), seguido por Laranjeiras (12,09%), Nossa Senhora do Socorro (11,77%), Siriri (11,31) e Divina Pastora (11,18%). No tocante ao comércio, Nossa Senhora do Socorro e São Cristóvão são os principais destaques da área cárstica, possuindo taxas de 20,04% e 16,85% de população ocupada nesse setor. Divina

Pastora tem a maior taxa em relação a população ocupada no setor de prestação de serviços com 55,24% seguido por Nossa Senhora do Socorro (48,95%), Rosário do Catete (48,81%) e São Cristóvão (48,39%).

É importante ressaltar, que mesmo não possuindo a maior parcela da população ocupada, a indústria é responsável por parte significativa do PIB dos municípios (Tabela 6.4). Segundo dados da Federação das Indústrias do Estado de Sergipe - FIES (2014), a indústria corresponde a 45,46% de participação na economia. A participação da Indústria no PIB destaca-se nos municípios de Divina Pastora, Japaratuba, Rosário do Catete, Siriri, Maruim e Laranjeiras.

Tabela 6.4 – Carste da Bacia Sergipe – Participação dos setores na composição do PIB – 2018.

Municípios	PIB (R\$ milhões de reais)	População (Mil habitantes)	PIB per capita (R\$)	VA Agrop. %PIB	VA Serv. %PIB	VA Ind. %PIB
Capela	281.131	30.761	9.043	13,62	60,20	26,19
Divina Pastora	169.968	4.326	38.559	1,34	15,46	83,20
Japaratuba	483.969	16.864	28.399	4,57	20,72	74,71
Laranjeiras	1.061.185	26.902	39.047	1,49	60,21	38,31
Maruim	220.247	16.343	13.420	3,72	51,30	44,97
Nossa Senhora das Dores	169.514	24.580	6.845	11,76	75,38	12,87
Nossa Senhora do Socorro	1.761.045	160.827	10.801	0,26	81,62	18,12
Rosário do Catete	392.569	9.221	41.834	2,16	28,79	69,05
São Cristóvão	519.112	78.864	6.492	3,41	73,66	22,92
Siriri	132.529	8.004	16.386	6,16	29,58	64,26
Total da área cárstica	5.191.269	376.692	21.082,6	4,85	49,69	45,46

Fonte: FIES/IBGE (2014).

Elaboração: Heleno dos Santos Macedo

Segundo os dados da tabela 5.4, no tocante ao Produto Interno Bruto (PIB) e o PIB *per capita*, os municípios possuem os maiores valores totais, aproximados de R\$ 5 bilhões de reais, com um PIB per capita médio de R\$ 21.082,60, considerado o maior das áreas cársticas de Sergipe.

O Município de Nossa Senhora do Socorro possui o maior PIB dentre os municípios desse setor cárstico apresentando um valor em torno de R\$ 1.761.045.000 (um bilhão setecentos e sessenta e um milhões e quarenta e cinco mil reais). Em relação ao PIB *per capita*, Rosário do Catete, laranjeiras e Divina Pastora possuem os maiores índices respectivamente. A elevação desses indicadores ocorre principalmente, pela participação expressiva da indústria na atividade

econômica desses municípios, em consonância com a baixa densidade demográfica que eles apresentam.

a) Indústria

Entre as indústrias instaladas no carste da Bacia Sergipe destacam-se a indústria sucroalcooleira, extrativa (petróleo e gás), química, etanol, alimentos e bebidas, construção civil e a indústria do cimento. As principais unidades fabris estão instaladas nos municípios de Nossa Senhora das Dores, Rosário do Catete, Japarutuba, Laranjeiras e Nossa Senhora do Socorro.

A indústria sucroalcooleira sergipana se destaca nos municípios de Laranjeiras e Nossa Senhora das Dores. Esses municípios são responsáveis pela produção de açúcar cristal, álcool hidratado (utilizado como combustível e também na indústria petroquímica, química e farmacêutica), álcool anidro (utilizado como combustível para veículos e matéria prima na indústria de tintas, solventes e vernizes) bem como, na geração de energia elétrica e da bioenergia (o bagaço (biomassa) que sobra da moagem da cana-de-açúcar sendo queimado em caldeiras produzindo energia elétrica).

A principal indústria desse setor é a Usina São José do Pinheiro Ltda., localizada no município de Laranjeiras (Figura 6.2). Esta usina, fornece serviço na comercialização e fabricação de açúcar, álcool, melaço e geração de energia para todo o Nordeste Brasileiro e alguns países europeus e africanos. Sua constituição vem da fundação do Engenho São José com outros engenhos da região por Albano do Prado Pimentel Franco.

Figura 6.2 –Usina São José do Pinheiro Ltda., no município de Laranjeiras.



Crédito: USJP, 2017.

A referida usina obteve na safra de 2007/2008 seu recorde de produção de açúcar, foram 1.881.219 sacas de 50 kg. Na safra de 2010/2011 a usina passa a oferecer ao mercado a energia elétrica obtida do processamento da biomassa da cana de açúcar, produção esta que foi ampliada na safra 2015/2016. Entre 2014/2015 a Usina Pinheiro obteve sua maior safra agrícola, colhendo 1.032.155 toneladas de cana-de-açúcar. Também nessa safra se obteve a maior produção de etanol, produzindo ao todo 9.140.830 litros de álcool hidratado e 15.311.764 litros de álcool anidro (UNICA, 2018).

Em novembro de 2008, foi fundada a Usina Gentil Barbosa, de propriedade da empresa Agroindustrial Campo Lindo em Nossa Senhora das Dores, usina responsável pela produção de etanol e biodiesel (Figura 6.3). Ocupando uma área de 7 mil hectares e com o uso de tecnologia de ponta, a usina chegou a processar mais 1,2 de milhão de toneladas de cana por safra, produzindo 600 mil litros de etanol/dia. O empreendimento dependia do plantio de 16 mil hectares de cana em seis municípios: Nossa Senhora das Dores, Capela, Japaratuba, Siriri, Muribeca e Neópolis.

Figura 6.3 –Usina Gentil Barbosa, no município de Nossa Senhora das Dores



Crédito: Adiberto, 2015.

Em 2013 a usina passou a ter sucessivos problemas financeiros, devido a problemas na safra de cana-de-açúcar e da redução nos preços em escala nacional desse produto, sendo preciso em 2017 solicitar recuperação Judicial para continuar funcionando. Mesmo passando por problemas financeiros, ainda é responsável em parte pela geração de receita para o município, mantendo ainda alguns empregos. Além disso, continua praticando arrendamento

de pequenas propriedades no intuito de cultivar cana-de-açúcar para manutenção da sua linha de produção.

A indústria extrativa do petróleo e gás natural é representada pela PETROBRÁS S.A. e suas prestadoras de serviço. Em 2017 o município de Pirambú teve o maior repasse de royalties, entre todos os municípios sergipanos, recebendo aproximadamente R\$ 39,7 milhões. Japaratuba, Carmópolis, Divina Pastora e Aracaju receberam respectivamente R\$ 12,9 milhões, R\$ 10,8 milhões, R\$ 10,2 milhões e R\$ 9,4 milhões. Outros municípios como Itaporanga D'Ajuda, Siriri e Riachuelo receberam R\$ 9,2 milhões, R\$ 8,7 milhões e R\$ 7,8 milhões, referente à extração de petróleo e gás.

As principais unidades de extração de petróleo e gás sobre o carste tradicional da Bacia Sergipe são: Campo de Sirizinho (Rosário do Catete); Campo de Mato Grosso, Campo de Riachuelo (Divina Pastora); Campo Castanhal (Siriri); Campo da Ilha Pequena e Cidade de Aracaju (São Cristóvão) e o campo de Carmópolis (Japaratuba) – Figura 6.4.

Figura 6.4 – Extração de petróleo campo de Mato Grosso no município de Divina Pastora.



Crédito: Heleno dos Santos Macedo, 2016.

Nos últimos anos a produção de petróleo e gás natural vem reduzindo nas devidas unidades de extração, devido, entre outros fatores, a redução do preço do *commodity* no mercado internacional, o aumento da produção nos Estados Unidos e Arábia Saudita, bem como, as sucessivas denúncias de corrupção que envolveram a estatal brasileira nos últimos

anos. Essa redução vem provocando problemas nas finanças públicas desses municípios que em sua maioria dependem dos royalties pagos pela estatal.

A indústria cimenteira tem um papel relevante para o desenvolvimento econômico do estado de Sergipe. Com base nos dados do Sindicato Nacional da Indústria de Cimento – SNIC (2018) o estado ocupa a 3ª posição no Nordeste, com uma produção de 1.560,800 mil toneladas em 2017, correspondente a 26,6% de toda a produção da região.

Até o ano de 2017, Sergipe contava com três fábricas atuando no mercado: Grupo Votorantim (Laranjeiras), Itaguassu (Nossa Senhora do Socorro) e Mizu (Pacatuba). Com essas três unidades, a produção de cimento atingiu uma média de 7,2%, superior ao Nordeste (5,8%) e ao Brasil (5,9%) entre 2003 e 2011. A produção sergipana sempre teve como principal destino o mercado externo, sendo um dos principais itens de exportação do estado.

A companhia de Cimento Portland de Sergipe, pertencente ao Grupo Votorantim foi a primeira unidade de produção em Sergipe, instalada na rua Acre no bairro América. Segundo Oliveira (2007) essa área foi escolhida para implantação devido a ser um local distante dos principais bairros residenciais de Aracaju.

No ano de 1983, a Companhia de Cimento Portland de Sergipe foi desativada, devido ao rápido crescimento urbano no entorno da unidade fabril, sendo substituída por uma nova unidade – a CIMESA – no município de Laranjeiras. Essa unidade fabril tornou-se a maior da região nordeste (Figura 6.5). Com 35 anos de atuação ela é mantenedora de 360 empregos diretos e com capacidade produtiva de 2,8 milhões de toneladas por ano de cimento Poty (SNIC, 2018).

Figura 6.5 - Unidade de Produção da Votorantim Cimentos em Laranjeiras/SE.



Crédito: CIMESA, 2018.

A Votorantim Cimentos em Laranjeiras, produz quatro tipos de cimento da marca Poty: Cimento CP II F 32 (uso geral), Cimento CP II Z 32 (para ambientes agressivos, com aditivo de pozolana), CP IV 32 (para ambientes agressivos, principalmente próximos do mar, também com aditivo de pozolana) e CPP (especial para poços de petróleo).

A fábrica também atende a parte da demanda de clínquer (uma das matérias primas do cimento) para outras unidades da Votorantim Cimentos no Nordeste, produzindo 2 milhões de toneladas anuais. Em Sergipe, a Votorantim Cimentos também opera um centro de distribuição de cimentos em Aracaju, com reposição diária da fábrica

Outra importante fábrica que atuou no mercado sergipano até o ano de 2017 assentada sobre o carste da Bacia Sergipe, pertencia ao Grupo João Santos, unidade Itaguassu Agroindústria S/A – (NASSAU) – Figura 6.6. Foi inaugurada no ano de 1996 no município de Nossa Senhora do Socorro, com o intuito de promover o desenvolvimento econômico do município e do estado (CAJAZEIRAS, 2011). Porém, a unidade passou por graves problemas financeiros e estruturas entre os anos de 2013 a 2016, culminando com o fechamento da fábrica no ano de 2017.

Figura 6.6 - Itaguassu Agroindústria S/A – (NASSAU) em Nossa Senhora do Socorro/SE.



Crédito: Jornal o Dia, 2016.

Outra importante indústria no carste da Bacia Sergipe é a de fertilizantes do potássio. A principal jazida de extração é a Taquari/Vassouras localizada no município de Rosário do Catete (Figura 6.7). Os depósitos sergipanos foram descobertos, em 1963, nas sub-bacias evaporíticas de Taquari-Vassouras, durante trabalhos de prospecção de petróleo pela

PETROBRÁS (NASCIMENTO, MONTE e LOUREIRO, 2005), uma vez que os domos salinos formam estruturas típicas para acumulação de petróleo (MONTE et al., 2002).

Figura 6.7 – Unidade de extração de potássio da Vale Taquari/Vassouras em Rosário do Catete/SE.



Crédito: Francisco Vieira, 2013.

O projeto de implantação da mina/usina de Taquari/Vassouras, a única em operação no Brasil, para o aproveitamento do cloreto de potássio, foi iniciada em 1979, pela PETROBRAS Mineração S.A. (PETROMISA), e inaugurado em 1985. A exploração da mina esteve a cargo da PETROMISA até 1991, quando a empresa foi extinta, passando todos os direitos minerários para a PETROBRAS (OLIVEIRA, 2005). A partir de 1992, passou a ser administrada pela Gerência Geral de Fertilizantes (GEFEK), da Vale, por meio de um contrato de arrendamento feito com a PETROBRAS por um prazo de 25 anos.

Em abril de 2010, a Vale recebeu licença ambiental prévia, da Administração Estadual de Meio Ambiente do Estado de Sergipe (ADEMA), para desenvolvimento de outro projeto de potássio para a exploração de Carnalita nas proximidades da mina Taquari-Vassouras, também de propriedade da Petrobras.

A expectativa era de que o Projeto Carnalita permitiria o aumento da produção de insumos agrícolas para todo o Brasil, contribuindo para a redução da dependência da importação de fertilizantes no país. Porém, o projeto não teve prosseguimento devido as

mudanças ocorridas na conjuntura econômica do país e de conflitos criados entre os municípios que iriam receber o projeto da unidade de exploração.

Em janeiro de 2018, como parte da estratégia de simplificar seu portfólio de ativos, a Vale S.A vendeu a sua unidade de Fertilizantes para a *The Mosaic Company*, empresa da qual a companhia passou a ter participação acionária.

No tocante a indústria de Fertilizantes Nitrogenados em Sergipe provém de uma unidade industrial da Fábrica e Fertilizantes Nitrogenados (FAFEN), localizada no município de Laranjeiras (Figura 6.8). A FAFEN é o resultado da incorporação da Nitrofertil à PETROBRÁS, a solução encontrada para evitar a privatização desse setor, que é intensivamente subsidiado, sobretudo no que tange ao preço da principal matéria-prima, o gás natural.

Figura 6.8 – Unidade da FAFEN em Laranjeiras/SE.



Crédito: Antônio da Cruz, 2016.

No processo de obtenção da ureia, em escala industrial, fundamenta-se a síntese da amônia com o gás carbônico, sob condições especiais de temperatura e pressão. A amônia utilizada no processo de produção é obtida na mesma unidade fabril, a partir do gás natural oriundo dos poços de petróleo da região, processado na Unidade de Processamento de Gás Natural (UPGN).

Os produtos fabricados na FAFEN Sergipe, amônia e ureia, eram destinados ao mercado nordestino, sendo também nos últimos anos comercializados para outras regiões do

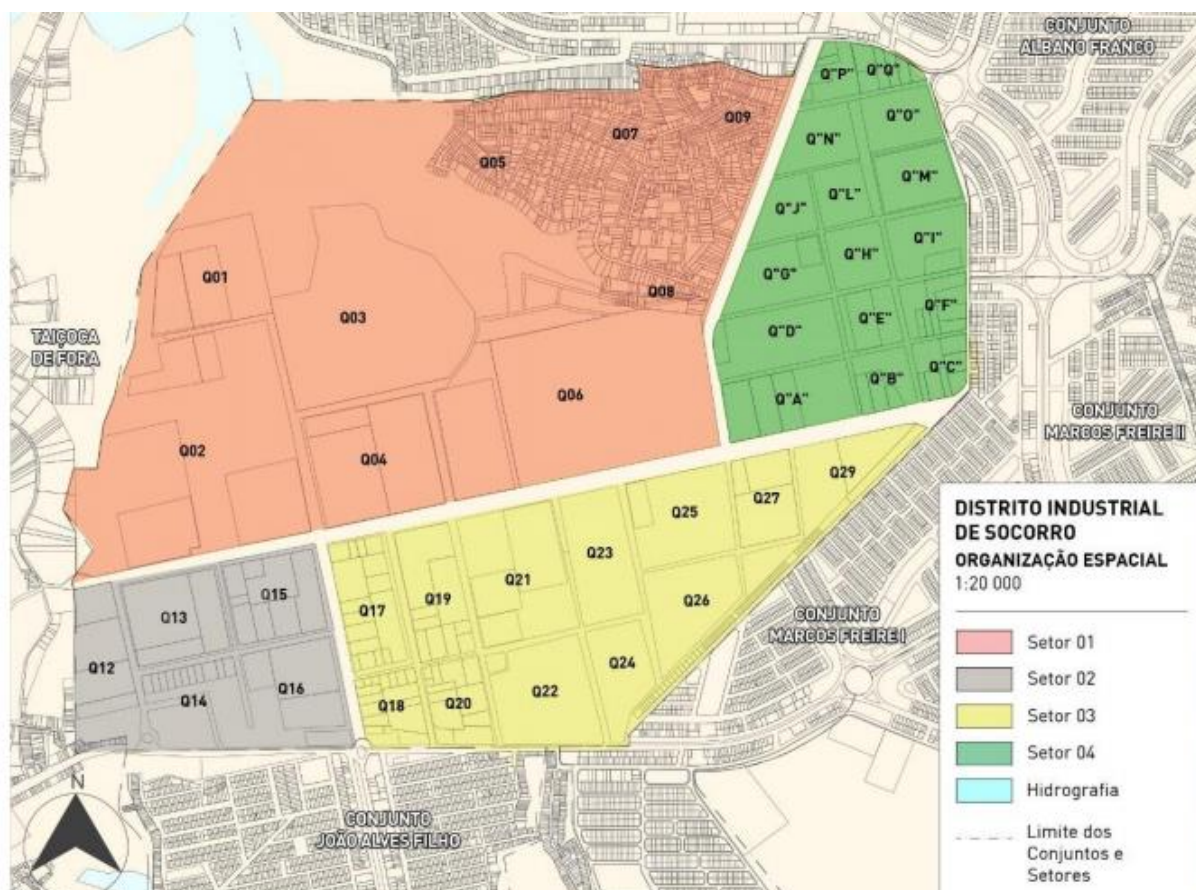
país e até mesmo para o exterior. O gás carbônico, subproduto do processo de produção, era fornecido por tubovia para a *Liquid Carbonic*.

Em junho de 2018, devido à crise no setor e principalmente nas atividades econômicas desenvolvidas por sua mantenedora, a PETROBRÁS, a unidade da FAFEN em Sergipe foi fechada, provocando o desemprego de centenas de trabalhadores que dependiam direta e/ou indiretamente da fábrica para sua manutenção econômica.

Ainda em relação a atuação da indústria no processo de uso e ocupação do solo no carste da Bacia Sergipe, o município de Nossa Senhora do Socorro vem se tornando nas últimas décadas o principal polo industrial do estado de Sergipe. Destacam-se indústrias dos ramos de alimentação, extrativismo mineral, eletrônica; construção civil, entre outras.

Em meados da década de 1980 do século XX, o governo estadual, a partir da política nacional de desenvolvimento industrial, elaborou um projeto de implementação de indústrias no município (Figura 6.9). O novo Distrito Industrial do Estado de Sergipe previa a ocupação de indústrias de diferentes portes na porção Norte do Complexo Taíçoca, considerando fatores como a provisão de infraestrutura local, a complementaridade da função industrial e a comunicação com os territórios através do transporte rodoviário (PEMAS, 2001, p. 16).

Figura 6.9 - Zoneamento do Distrito Industrial de Nossa Senhora do Socorro/SE.



Crédito: Vinícius Rodrigues, 2017.

O Plano Diretor do Distrito Industrial de Nossa Senhora do Socorro, assim, foi elaborado a partir de um modelo de ocupação do solo associado ao uso da terra e ao modelo de estrutura viária existente para o município (RODRIGUES, 2017). De acordo com a CODISE (2016), a área destinada ao Distrito Industrial de Socorro deveria ser dividida em seis zonas – sendo quatro setores destinados à atividade industrial, um setor para administração e um setor para áreas verdes –, cujos tamanhos dos lotes seriam hierarquizados de acordo com o porte da indústria.

Atualmente, a principal unidade fabril do município é a fabricante de peças eletroeletrônica para automóveis Yasaki (Figura 6.10). A Yasaki implementada em Nossa Senhora do Socorro no ano de 2013, foi a sexta unidade do grupo no país, onde foram investidos R\$ 50 milhões em uma área construída de 19 mil metros quadrados.

Figura 6.10 – Unidade da Yasaki em Nossa Senhora do Socorro/SE.



Crédito: PROJENC, 2018.

A empresa contou com incentivos fiscais e locacionais previstos no Programa Sergipano de Desenvolvimento Industrial (PSDI) e disponibilizados pelo Governo do Estado, através da SEDETEC e CODISE.

A indústria assentada sobre o carste da Bacia Sergipe desempenha um importante papel para a economia do estado de Sergipe, sendo, uma das principais fontes de arrecadação para o estado.

A partir de 2014, com a acentuação da crise econômica, algumas unidades fabris foram encerradas, bem como, o processo de abertura de novas unidades diminui, acarretando a redução da mão de obra locada nesse setor nos últimos anos.

b) Agricultura

A agropecuária como prática econômica desempenha um importante papel no processo de uso e ocupação do solo no carste da Bacia Sergipe. A área destinada a pastagem e a práticas agrícolas permanentes e temporárias expressam a relevância dessa atividade econômica para essa área cárstica como se observa na tabela 6.5.

A maior parte da terra dos municípios presentes no carste da Bacia Sergipe é destinada para prática da pastagem plantada (30,32%). Outra parte do território é destinado para lavouras, com destaque para culturas temporárias (15,07%). Em todos os municípios a menor porção da terra é destinada as matas e florestas (5,22%), característica preocupante diante das necessidades do meio natural de manter seu ciclo.

Nossa Senhora das Dores é o município de maior área do carste da Bacia Sergipe, com 48. 239, 9 hectares. Desse total, 68,01% é destinado para pastagens (naturais e plantadas) 8,61% destinada para lavoura (temporária e permanente) e 8,79% perfaz o total de matas e florestas. Divina Pastora apresenta a menor área entre os municípios totalizando de 9.032,8 hectares, sendo 67,50% destinada para pastagens naturais e plantadas, 10,02% são ocupadas pela lavoura temporária e 9,63% de matas e florestas.

Os municípios de Capela, Divina Pastora, Nossa Senhora das Dores, Nossa Senhora do Socorro, Rosário do Catete, São Cristóvão e Siriri, destinam a maior parte das suas terras para a prática da pastagem, em média 35,02% do total de seus territórios. Em contraponto, 11,42% das áreas desses municípios são destinadas as lavouras, perfazendo uma pequena parcela do uso do solo.

Os municípios de Laranjeiras, Maruim e Japaratuba, dão um destino diferente ao uso do solo. Nesses municípios, a maior parcela da terra é destinada a Lavoura, temporária e permanente sobressaindo a cultura da cana-de-açúcar, cuja produção destina-se em sua maior parte para a indústria sucroalcooleira do estado e estados vizinhos como Alagoas e Bahia.

Tabela 6.5 – Carste Tradicional da Bacia Sergipe. Utilização das Terras, 2017.

Municípios	Área total (ha)	Utilização das Terras											
		Lavoura				Pastagens				Matas e Florestas			
		Permanente		Temporária		Naturais		Plantadas		Naturais		Plantadas	
		Área (ha)	%	Área (ha)	%	Área (ha)	%	Área (ha)	%	Área (ha)	%	Área (ha)	%
Capela	44.221,1	90,563	0,20	5.922,355	13,39	16.237,771	36,72	7.576,110	17,13	1.788,909	4,05	-----	----
Divina Pastora	9.032,8	11,982	0,13	902,193	9,99	568,770	6,30	5.527,739	61,20	141,874	1,57	728,188	8,06
Japarutuba	36.562,1	1.280,180	3,50	7.431,892	20,33	1.612,238	4,41	5.962,385	16,31	2.538,747	6,94	144,679	0,40
Laranjeiras	16.227,3	634,660	3,91	8.481,746	52,27	218,311	1,35	3.542,676	21,83	669,601	4,13	-----	----
Maruim	9.555,4	217,212	2,27	3.885,221	40,66	37,179	0,39	3.340,982	34,96	322,225	3,37	-----	----
Nossa Senhora das Dores	48.239,9	830,569	1,72	3.107,526	6,44	2.473,436	5,13	30.335,512	62,88	4.241,254	8,79	-----	----
Nossa Senhora do Socorro	15.501,8	216,605	1,40	625,166	4,03	366,407	2,36	3.100,454	20,00	375,200	2,42	-----	----
Rosário do Catete	10.283,4	103,487	1,01	2.012,941	19,57	21,816	0,21	2.963,918	28,82	419,808	4,08	-----	----
São Cristóvão	43.803,7	1.946,183	4,44	1.433,781	3,27	1.947,457	4,45	6.911,644	15,78	65,924	0,15	2.608,550	5,96
Siriri	16.837,2	189,069	1,12	3.919,572	23,28	2.337,123	13,88	6.625,753	39,35	2.493,371	14,81	-----	----
ACT BACIA SERGIPE	250.264,7	5.520,51	2,21	37.722,393	15,07	25.820,508	10,32	75.887,173	30,32	13.056,913	5,22	3.481,417	1,39

Organização: Heleno dos Santos Macedo, 2018.

Fonte: Censo Agropecuário, 2017.

Siriri, Nossa Senhora das Dores, Divina Pastora e Japaratuba são os que possuem em seu território a maior presença de matas e florestas, um total de 14,81%, 8,79%, 9,63% e 7,34% respectivamente. O município de Capela, possui 4,05% de matas e florestas, que está entre as mais importantes reservas naturais do estado de Sergipe, a mata do Junco.

O Refugio da Vida Silvestre Mata do Junco, é uma unidade de conservação da natureza que preserva mais de 894,76 hectares de Mata Atlântica e toda a biodiversidade que ela envolve (Figura 6.11). Segundo Santos et. al. (2007) é a segunda maior reserva de Mata Atlântica do Estado de Sergipe, onde se encontra uma variedade de fauna e flora, além de ser o local da nascente do rio Lagartixo, responsável pelo abastecimento da cidade de Capela, além de ser o refúgio do macaco Guigó (*Callicebus coimbra*) espécie ameaçada de extinção.

Figura 6.11 – Entrada da unidade de Conservação Mata do Junco – Capela/SE.



Crédito: Heleno dos Santos Macedo, 2016.

No tocante a produção dos principais produtos agrícolas nota-se que os municípios do carste da Bacia Sergipe destinam sua maior parte do solo para as lavouras temporárias, destacando as culturas da cana-de-açúcar (29.164,294ha), mandioca (1065,394ha), Milho (944,1ha) e feijão (33,398 ha) respectivamente (tabela 6.6).

Tabela 6.6 – Carste Tradicional da Bacia Sergipe - Produção dos Principais Produtos agrícolas - 2017.

Municípios	Cana-de-açúcar		Feijão		Milho		Mandioca	
	Área colhida (ha)	Quant. Prod. (t)	Área colhida (ha)	Quant. Prod. (t)	Área colhida (ha)	Quant. Prod. (t)	Área colhida (ha)	Quant. Prod. (t)
Capela	4.072,227	160.839,300	2,647	1,210	148,447	191,820	225,238	1.524,104
Divina Pastora	774,820	37.392,780	3,117	4,840	7,261	10,260	7,491	38,120
Japaratuba	5.311,482	196.125,975	1,273	0,952	119,017	64,849	277,721	1.585,412
Laranjeiras	8.350,334	454.965,759	1,106	0,123	11,046	43,850	23,940	80,458
Maruim	3.841,697	182.051,020	-----	-----	7,633	123,510	8,749	18,733
Nossa Senhora das Dores	268,629	7.684,300	15,374	6,226	555,094	1.998,705	86,329	685,944
Nossa Senhora do Socorro	509,163	38.383,322	-----	-----	1,213	2,970	84,135	328,077
Rosário do Catete	1.902,983	81.991,280	-----	-----	1,575	1,490	17,464	45,856
São Cristóvão	1.179,830	58.991,042	7,677	1,851	37,813	83,928	258,550	541,793
Siriri	2.953,129	133.531,140	2,204	2,105	55,001	122,100	75,777	566,405
ACT BACIA SERGIPE	29.164,294	1.351.955,918	33,398	17,307	944,1	2.643,482	1065,394	5.414,902

Organização: Heleno dos Santos Macedo, 2018.

Fonte: Censo Agropecuário, 2017.

O município de Laranjeiras é o principal produtor de cana-de-açúcar entre os municípios, com uma quantidade de 454.965,759 toneladas (Figura 6.12). Segundo Araújo (2007) essa posição à frente dos outros municípios consolidou-se nas décadas anteriores, não somente pelas condições ambientais decorrentes da presença de solos férteis de massapé (Vertissolos) e de clima úmido, mas também em decorrência da Usina São José do Pinheiro incrementando a produção.

Figura 6.12 – Prática da Cultura da cana-de-açúcar no município de Japaratuba/SE.



Crédito: Heleno dos Santos Macedo, 2016.

Japaratuba e Maruim ocupam a segunda e terceira maior área cultivada de cana-de-açúcar, obtendo quantidades aproximadas respectivas de 196.125,975 e 182.051,020 toneladas. Parte dessa produção é destinada a Usina Gentil Barbosa, de propriedade da empresa Agroindustrial Campo Lindo em Nossa Senhora das Dores, responsável pela produção de etanol e biodiesel.

Quanto a Mandioca, Japaratuba é o município que possui a maior área colhida entre os municípios, com um total de 277,721 hectares e uma quantidade produzida de 1.585,412 toneladas. São Cristóvão com uma área colhida de 258, 550 hectares, ocupando o segundo lugar, possui uma quantidade produzida inferior a Capela (que ocupa a terceira posição na produção dessa cultura). Capela com uma área colhida de 225, 238 hectares, possui uma quantidade produzida de 1.524,104 toneladas, contra 541,793 toneladas produzidas por São Cristóvão, uma diferença de 64,45% a mais que São Cristóvão.

Em relação a produção de Milho e Feijão, o município de Nossa Senhora das Dores, possui os principais indicadores no tocante a área colhida e quantidade produzida. Segundo dados do IBGE (2017), o município destinou a cultura do milho um total de 555,094 hectares com uma quantidade produzida de 1.998,705 toneladas.

Em relação a produção do Feijão, foram destinados 15,374 hectares, obtendo uma produção de 6,226 toneladas. O bom desempenho na produção dessas culturas ocorre pela condição do clima do município, que se caracteriza por precipitações em períodos específicos do ano.

Sobre o efetivo dos principais rebanhos, a avicultura representada pelos galináceos, grupo no qual engloba as galinhas, galos, frangos, frangas e pintos, desempenha significativo papel na economia da área cárstica da Bacia Sergipe, onde dois dos seus municípios – São Cristóvão e Maruim – estão entre os cinco maiores produtores do estado (tabela 6.7).

Tabela 6.7 – Carste Tradicional Bacia Sergipe – Produção da Pecuária – 2017.

Municípios	Efetivos dos Principais Rebanhos					
	Bovinos	Suínos	Equinos	Muares	Ovinos	Galináceos
Capela	16.207	766	1.454	228	1.056	79.066
Divina Pastora	7.123	235	392	44	190	21.455
Japaratuba	5.861	305	1.034	110	662	102.954
Laranjeiras	3.014	60	270	60	209	2.949
Maruim	3.094	115	459	83	176	166.955
Nossa Senhora das Dores	27.328	1.528	1.616	343	2.437	80.164
Nossa Senhora do Socorro	4.393	451	557	30	453	5.738
Rosário do Catete	3.206	160	388	46	194	48.178
São Cristóvão	9.928	3.171	1.388	177	7.262	708.281
Siriri	8.714	155	604	146	363	85.922
ACT BACIA SERGIPE	88.868	6.946	8.162	1.267	13.002	1.301.662

Organização: Heleno dos Santos Macedo, 2018.

Fonte: Censo Agropecuário, 2017.

Em 2017, segundo dados do último censo agropecuário do IBGE, esse efetivo produziu 1.301.662 cabeças, se colocou na frente dos demais efetivos no conjunto da área cárstica, chegando a atingir 91,79%, restando apenas 6,25% para o rebanho bovino (88.868 cabeças), 0,91% para ovinos (13.002 cabeças), 0,57 para equinos (8.162 cabeças), 0,48 para suínos (6.946 cabeças) e 0,08% para muares (1.267 cabeças).

São Cristóvão destaca-se como maior produtor desse efetivo, com 708.281 cabeças, consagrado tradicionalmente, pelos modernos aviários, que acompanham os avanços tecnológicos do setor no país. Maruim, com uma produção cinco vezes menor (166.955 cabeças), coloca-se na segunda posição (ARAÚJO, 2007). A produção conjunta desses

municípios é destinada ao mercado interno, para abastecer as redes de supermercado de Aracaju, além das feiras locais espalhadas por todo o estado.

O rebanho bovino representa o segundo maior efetivo, somando 88.868 cabeças, sendo mais numerosos nos municípios de Nossa Senhora das Dores 27.328 cabeças e Capela com um efetivo de 16.207 cabeças. Os municípios de Maruim e Laranjeiras possuem os menores rebanhos nesse efetivo com um total de 3.094 e 3.014 cabeças respectivamente.

Os rebanhos de ovinos, equinos e suínos apresentam baixos efetivos. O rebanho de ovinos totaliza 13.002 cabeças, sendo o município de São Cristóvão o principal produtor com 7.262 cabeças, seguido por Nossa Senhora das Dores que possui um rebanho três vezes menor (2.437 cabeças).

Em relação ao rebanho de Equinos. Nossa Senhora das Dores possuem o primeiro e segundo efetivos em números, com 1.616 e 1.454 cabeças. O rebanho de suínos possui um efetivo de 6.946 cabeças, sendo o município de São Cristóvão o principal produtor, com um total de 3.171 cabeças. A produção de muares é inexpressiva no contexto do carste da Bacia Sergipe, chegando a possuir no total 1.267 cabeças, sendo Nossa Senhora das Dores (343 cabeças) e Capela (228 cabeças) os principais efetivos desse tipo de rebanho nessa área cárstica.

c) Extrativismo Mineral

O extrativismo mineral é uma prática econômica relevante no carste da Bacia Sergipe. Essa atividade econômica provoca impactos diretos sobre os ambientes cársticos, através das lavras destinadas a extração do calcário que colocam feições do exocarste e endocarste em ameaça constante, como campos de lapiás, dolinas, cavernas, espeleotemas, entre outros.

O calcário é o principal recurso mineral extraído do solo do ambiente cárstico da Bacia Sergipe. Existem trinta e três minas cadastradas no DNPM, situadas nos municípios de Laranjeiras, Nossa Senhora do Socorro, Maruim e São Cristóvão, conforme se observa no Quadro 6.1.

Quadro 6.1 – Área de extração mineral no Carste Tradicional da Bacia Sergipe – 2018. (Continua)

MUNICÍPIO	LOCAL	TIPO DE LAVRA	FORMA	ABREVIATURA DA SUBSTÂNCIA	GRUPO
São Cristóvão	NW de São Cristóvão	Não explotado	Ocorrência	arg	Rochas e Minerais Industriais
São Cristóvão	NNW de São Cristóvão	Não explotado	Ocorrência	arg	Rochas e Minerais Industriais
Nossa Senhora do Socorro	Fazenda Tabocas	Não explotado	Depósito	arg, cc	Rochas e Minerais Industriais
Nossa Senhora do Socorro	Rio do Sal	Não explotado	Depósito	arg	Rochas e Minerais Industriais
Japaratuba	Camarão	(Não determinado)	Depósito	arg	Rochas e Minerais Industriais
São Cristóvão	NNW de São Cristóvão	(Não determinado)	Ocorrência	arg	Rochas e Minerais Industriais
São Cristóvão	NNW de São Cristóvão	(Não determinado)	Ocorrência	arg	Rochas e Minerais Industriais
São Cristóvão	NNW de São Cristóvão	(Não determinado)	Ocorrência	arg	Rochas e Minerais Industriais
São Cristóvão	NW de São Cristóvão	(Não determinado)	Ocorrência	arg	Rochas e Minerais Industriais
São Cristóvão	NW de São Cristóvão	(Não determinado)	Ocorrência	arg	Rochas e Minerais Industriais
Nossa Senhora das Dores	Fazenda Poção	(Não determinado)	Ocorrência	Mn	Metais Ferrosos
Nossa Senhora das Dores	Povoado Tabocas	(Não determinado)	Ocorrência	Mn	Metais Ferrosos
Nossa Senhora das Dores	Faz. Capim do Boi	(Não determinado)	Ocorrência	Mn	Metais Ferrosos
Nossa Senhora das Dores	Serra do Bezouro	(Não determinado)	Ocorrência	Mn	Metais Ferrosos
Nossa Senhora das Dores	Faz. Sto. Antônio	(Não determinado)	Ocorrência	Mn	Metais Ferrosos
Capela	Estação Murta	(Não determinado)	Ocorrência	Pb, Zn	Metais não Ferrosos e Semimet
São Cristóvão	NE de Itaporanga d'Ajuda	(Não determinado)	Ocorrência	Pb, Zn	Metais não Ferrosos e Semimet
Nossa Senhora do Socorro	Usina Paraíso Eng. Novo e Retiro / Fazenda Candeias	Mina	Indício	cc	Material de Construção Civil
Laranjeiras	Sítio Pedra Furada	Mina	Depósito	cc	Material de Construção Civil
Maruim	Fazendas Sítio e Mata	Mina	Indício	cc	Material de Construção Civil
Laranjeiras	Sítio Carapeba	Mina	Indício	cc	Material de Construção Civil
Laranjeiras	Fazendas Junco e Sergipe	Não explotado	Depósito	cc	Material de Construção Civil
Nossa Senhora do Socorro	Faz. Mucuri (Área F)	Não explotado	Depósito	cc	Material de Construção Civil
Laranjeiras	Fazendas Mata / Retiro / Jardim / Oiteiro	Mina	Depósito	cc	Material de Construção Civil
Laranjeiras	Fazendas: Mussoca, Pilar e Cedro	Não explotado	Depósito	cc	Material de Construção Civil
Laranjeiras	Fazenda Pindoba	Não explotado	Depósito	cc	Material de Construção Civil
Laranjeiras	Fazenda Mumbaca	Não explotado	Depósito	cc	Material de Construção Civil
Laranjeiras	Nossa Senhora do Socorro	(Não determinado)	Ocorrência	cc	Material de Construção Civil
Nossa Senhora do Socorro	Taiçoca de Fora	Não explotado	Depósito	cc	Material de Construção Civil
São Cristóvão	Fazenda Candeias (SE-04)	Não explotado	Depósito	cc	Material de Construção Civil
Nossa Senhora do Socorro	Jazida (SE-08)	Não explotado	Depósito	cc	Material de Construção Civil
Laranjeiras	Fazenda São Jorge (Alvo I)	Mina	Depósito	cc	Material de Construção Civil
Laranjeiras	Fazenda São Jorge (Alvo II)	(Não determinado)	Depósito	cc	Material de Construção Civil
Laranjeiras	Fazenda Pastora	(Não determinado)	Depósito	cc	Material de Construção Civil

Quadro 6.1 – Área de extração mineral no Carste Tradicional da Bacia Sergipe – 2018. (Conclusão)

MUNICÍPIO	LOCAL	TIPO DE LAVRA	FORMA	ABREVIATURA DA SUBSTÂNCIA	GRUPO
Laranjeiras	Fazenda Iburio	Não explotado	Depósito	cc	Material de Construção Civil
Laranjeiras	Rio Buri (Usina Sergipe)	Não explotado	Depósito	cc	Material de Construção Civil
Nossa Senhora do Socorro	Fazenda Sergipe/Retiro	Não explotado	Depósito	cc	Material de Construção Civil
Maruim	Fazenda Porto Da Mata/Fazenda São José	Mina	Indício	cc	Material de Construção Civil
Maruim	Fazenda Lagoa	Não explotado	Depósito	cc	Material de Construção Civil
Nossa Senhora do Socorro	Fazendas Merem e Itaguassu	(Não determinado)	Depósito	cc, arg	Material de Construção Civil
Nossa Senhora do Socorro	Rio Cotinguiba	(Não determinado)	Depósito	cc	Material de Construção Civil
Laranjeiras	Faz. Boa Sorte	Mina	Depósito	cc	Material de Construção Civil
Nossa Senhora do Socorro	Fazenda Ibura	Não explotado	Depósito	cc, arg	Material de Construção Civil
Capela	Fazendas Lavagem e Recurso (Pedras)	Não explotado	Depósito	gr	Material de Construção Civil
Nossa Senhora do Socorro	Jazida Jacaré II (Taiçoca de Dentro)	Garimpo	Depósito	ar	Material de Construção Civil
Nossa Senhora do Socorro	Povoado Taiçoca	Garimpo	Depósito	ar	Material de Construção Civil
São Cristóvão	Fazenda Bonanza	(Não determinado)	Ocorrência	ar	Material de Construção Civil
São Cristóvão	Ilha Pequena	Mina	Depósito	pl, gás	Recursos Minerais Energéticos
Rosário do Catete	Campo de Siririzinho	Mina	Depósito	pl, gás	Recursos Minerais Energéticos
Divina Pastora	Campo de Mato Grosso	Mina	Depósito	pl, gás	Recursos Minerais Energéticos
Divina Pastora	Campo de Riachuelo	Mina	Depósito	pl, gás	Recursos Minerais Energéticos
Siriri	Castanhal	Mina	Depósito	pl, gás	Recursos Minerais Energéticos
São Cristóvão	Cidade de Aracaju	Mina	Depósito	pl, gás	Recursos Minerais Energéticos
Japaratuba	Campo de Carmópolis	Mina	Depósito	pl, gás	Recursos Minerais Energéticos
Siriri	Castanhal	Não explotado	Depósito	S	Rochas e Minerais Industriais
São Cristóvão	Fazenda Tebaída	Mina	Depósito	arg	Rochas e Minerais Industriais
Nossa Senhora do Socorro	Fazenda Santa Cecília	Mina	Depósito	arg	Rochas e Minerais Industriais
Maruim	Povoado Gentio/Faz.Beleza/Sítio Arandi	Mina	Depósito	cc	Material de Construção Civil
Laranjeiras	Pedra Branca	Mina	Depósito	cc	Material de Construção Civil
Nossa Senhora do Socorro	Nossa Senhora do Socorro	Não explotado	Depósito	cc	Material de Construção Civil
Nossa Senhora do Socorro	CIMESA - Fazenda Brandão	Mina	Depósito	cc	Material de Construção Civil
Nossa Senhora do Socorro	Fazendas Sergipe e São Pedro (SE-05)	Não explotado	Depósito	cc	Material de Construção Civil
Laranjeiras	Porto Grande	Não explotado	Depósito	mm	Material de Construção Civil
Laranjeiras	Fazendas Madre de Deus e Boa Luz	Não explotado	Depósito	cc	Material de Construção Civil
Capela	Fazenda Muquem	Mina	Depósito	ro	Material de Construção Civil
Siriri	Taquari-Vassouras/Santa Rosa de Lima	Mina	Depósito	K, Mg, Na	Insumos para Agricultura

Elaboração: Heleno dos Santos Macedo, 2018; Fontes: CPRM (2002) e DNPM (2018).

As rochas carbonáticas, classificadas petrograficamente como calcários e dolomitos de origem sedimentar, tem seus jazimentos, mas importantes distribuídos na Bacia Sedimentar de Sergipe, no contexto do Grupo Sergipe, diferenciados nas formações Cotinguiba (Membro Sapucari) e Riachuelo (Membro Maruim) conforme descrito no capítulo dois da presente tese. Esses calcários são utilizados na indústria cimenteira e em menor escala na indústria da construção civil, cal, brita, entre outras.

Os calcários e dolomitos mesozoicos presentes no carste da Bacia Sergipe, especialmente nos membros Sapucari e Maruim, das Formações Cotinguiba e Riachuelo, possuem teores obtidos em análises químicas satisfatórios para utilização dessas rochas na fabricação de cimento, corretivo de solos e de outros produtos com atividades econômicas diversas (Figura 6.13).

Figura 6.13 – Lavra de Calcário no Povoado Muçuca em Laranjeiras/SE.



Crédito: Heleno dos Santos Macedo, 2016.

Outro recurso mineral bastante explorado é a argila, com 14 jazidas segundo o DNPM (2018). O município de São Cristóvão e Nossa Senhora do socorro, são os que possuem as principais unidades de exploração desse mineral. O destino desse material extraída são as

grandes fábricas de cimento do estado, bem como a indústria de transformação em cerâmicas, como blocos e telhas entre outros (Figura 6.14).

Figura 6.14 – Lavra de argila em Siriri/SE.



Crédito: Heleno dos Santos Macedo, 2016.

Além do calcário e da argila, na área cárstica, também existe a presença de importantes jazidas de Manganês, Potássio, Magnésio, Sódio, Zinco, Chumbo, areia, minerais mistos, enxofre, gábro, granito petróleo e gás natural.

Em Siriri destaca-se a extração do Potássio, magnésio e do Sódio, principalmente nas imediações da taquari-vassouras /Santa Rosa de Lima; Petróleo e Gás natural nos municípios de São Cristóvão, Japaratuba, Siriri, Rosário do Catete e Divina Pastora; areia em Nossa Senhora do Socorro e São Cristóvão; Chumbo e Zinco em São Cristóvão e Capela, e minerais mistos no município de Nossa Senhora das Dores.

d) Sistemas de abastecimentos: Poços Tubulares e captação superficial

Um dos principais impactos em ambientais cársticos é a implementação de poços tubulares no processo de captação das águas subterrâneas. Naturalmente, os ambientes cársticos são ambientes que possuem reservas subterrâneas em seus condutos, isto é aquífero cárstico.

Porém a medida que o processo de retirada vai acentuando devido ao aumento da demanda, o nível da água tende a baixar gradativamente. Se as precipitações forem insuficientes em determinados períodos, o rebaixamento do nível freático provocará o abatimento desses condutos vazios, dando origem a dolinas de abatimento. Quando isso ocorre em áreas urbanas ocupadas pela população, geralmente, acarreta perda de vidas humanas, devido a negligência do poder público em não intervir na área.

Além disso, a exploração das águas por meio de bombeamento resulta como inconveniente ambiental, embora não de forma generalizada, no secamento ou redução de vazão de fontes naturais que estão associadas às estruturas fraturadas e carstificadas (ROSA FILHO *et al.*, 2002).

No carste da Bacia Sergipe, encontra-se a maior quantidade de poços tubulares dos setores cársticos de Sergipe. São seiscentos poços tubulares cadastrados, sendo o município de São Cristóvão e Laranjeiras os que apresentam as maiores quantidades respectivamente (SEMARH, 2014).

Porém, estima-se que o número de poços tubulares deva ser bem maior, já que devido aos custos e a todo processo burocrático que é necessário para realizar a solicitação da outorga para a regularização de poços, acaba dificultando o processo de regularização, tornando o número de poços tubulares reais desconhecidos.

O principal tipo de aquífero explorado é o granular, seguido pelo fissural. O aquífero cárstico é o que possui o menor número de poços cadastrados, porém, através dos trabalhos de campo, percebe-se que a maioria dos poços tubulares não cadastrados encontram-se nesse tipo de aquífero.

Alguns dos poços tubulares cadastrados são utilizados pela Companhia de Saneamento de Sergipe – DESO, para abastecimento de algumas cidades e povoados. Japaratuba é o município que mais possui poços tubulares implementados pela DESO para captação e abastecimento dos seus maiores povoados e uma pequena parcela da sua sede municipal.

Os demais municípios possuem sistemas de captação mista, tanto de unidades subterrâneas, quanto de captação superficial, como se constata nos municípios de Nossa Senhora das Dores, Laranjeiras, Maruim, Siriri, Rosário do Catete e São Cristóvão.

Nossa Senhora do Socorro, necessita de aproximadamente trinta por cento de outras fontes de abastecimento para atender sua demanda não oriunda da adutora do Alto Sertão que capta suas águas no rio São Francisco. Suas principais fontes de abastecimento são as unidades Ibura I e II localizadas próximo ao povoado Tabocas nas margens da rodovia federal BR – 101, e poço tubular implementado no aquífero Sapucari próximo ao povoado Oiteros.

e) Aterro Sanitário e Lixões

O descarte de resíduos sólidos e líquidos é um problema identificado em todos os municípios do carste tradicional da Bacia Sergipe. Os resíduos são descartados sem os devidos cuidados necessários, próximos as margens de rios, dentro de dolinas, expostos em terrenos abandonados, entre outros locais, sem a devida preocupação com a contaminação do meio ambiente.

Nos últimos anos, os lixões estão sendo controlados e na medida do possível, vários deles foram desativados ou mesmo remodelados, para atender com um mínimo de segurança ambiental para os ecossistemas no entorno.

A Estre é a maior empresa de serviços ambientais do Brasil e da América Latina, fundada em 1999. Com especialização nos diversos tipos de lixo – doméstico, comercial, industrial, eletrônico, da construção civil e de serviços de saúde – a Estre atua em todas as etapas do gerenciamento de resíduos – limpeza, coleta e transporte, valorização, tratamento e análises laboratoriais – e tem atuação significativa na área de Óleo e Gás (ESTRE, 2018).

Em 2011, a Estre passou a atuar em Sergipe com a inauguração de um Centro de Gerenciamento de Resíduos - CGR, localizado em Rosário do Catete, começando a receber o lixo produzido das cidades de Aracaju, Pirambú, Rosário do Catete, Carmópolis, São Cristovão, Barra dos Coqueiros, Siriri, Riachuelo, Divina Pastora, shoppings centers, Petrobrás, além de algumas indústrias e comércio da região numa média de 400 toneladas por dia (ESTRE, 2018).

Além do aterro de Rosário do Catete, a Estre investiu cerca de R\$ 5 milhões na construção de uma Estação de Transbordo, em Nossa Senhora do Socorro, próximo ao entroncamento das BRs 235 e 101. Nesse local os caminhões de coleta domiciliar transferem o lixo recolhido para carretas, que ficam encarregadas de transportar o resíduo para o aterro de Rosário do Catete (Figura 6.15).

Mesmo sendo algo benéfico, o aterro passa por monitoramento frequente, já que, está assentado sobre os calcários presentes no município de Rosário do Catete, sendo um fator de preocupação, por exemplo, o destino do chorume, já que qualquer situação eventual fora da normalidade poderá contaminar o aquífero cárstico do município.

Figura 6.15 – Aterro sanitário da Estre Ambiental em Rosário do Catete/SE.



Crédito: INFONET, 2017.

Os múltiplos usos do solo no carste tradicional da Bacia Sergipe tem sido desprovido de planejamento prévio por parte do poder público, ou mesmo, pelo setor privado que ocupa parte significativa das terras em suas mais diversas práticas econômicas sem a menor preocupação do quanto as atividades podem afetar direta e/ou indiretamente os sistemas naturais presentes nessa área.

Além disso, o crescimento urbano e populacional dos municípios, atrelados a ausência de planejamento, podem acarretar sobre o ambiente cárstico, problemas na relação sociedade-natureza, causando consequências irremediáveis tanto para os sistemas abióticos quanto bióticos existentes.

6.2 Área Cárstica Tradicional Olhos d'água/Frei-Paulo

O Carste Tradicional Olhos d'água/Frei Paulo ocupa área de sete municípios dos territórios do Agreste Central Sergipano e Centro-Sul Sergipano. A paisagem nesses municípios encontra-se bastante alterada, principalmente no tocante a substituição da cobertura vegetal primária e secundária, pela prática das pastagens, agricultura, formação de aglomerações urbanas, extração de recursos minerais, e locação da terra para implementação de distritos industriais, entre outros usos (Figura 6.17).

Os terrenos cársticos dessa área, estão em grande parte situados nas zonas rurais, e em alguns casos, como nos municípios de Simão Dias e Pinhão, as feições são exibidas nas proximidades ou dentro das áreas urbanas. Essa distância dos centros urbanos garante, de certo modo, a conservação do endocarste, embora, em certas cavidades e dolinas se observe o descarte de resíduos, como restos de animais, plásticos, vidro, entre outros (Figura 6.16).

Figura 6.16 – Dolina de colapso usada para descarte de resíduos sólidos – Pinhão/SE.

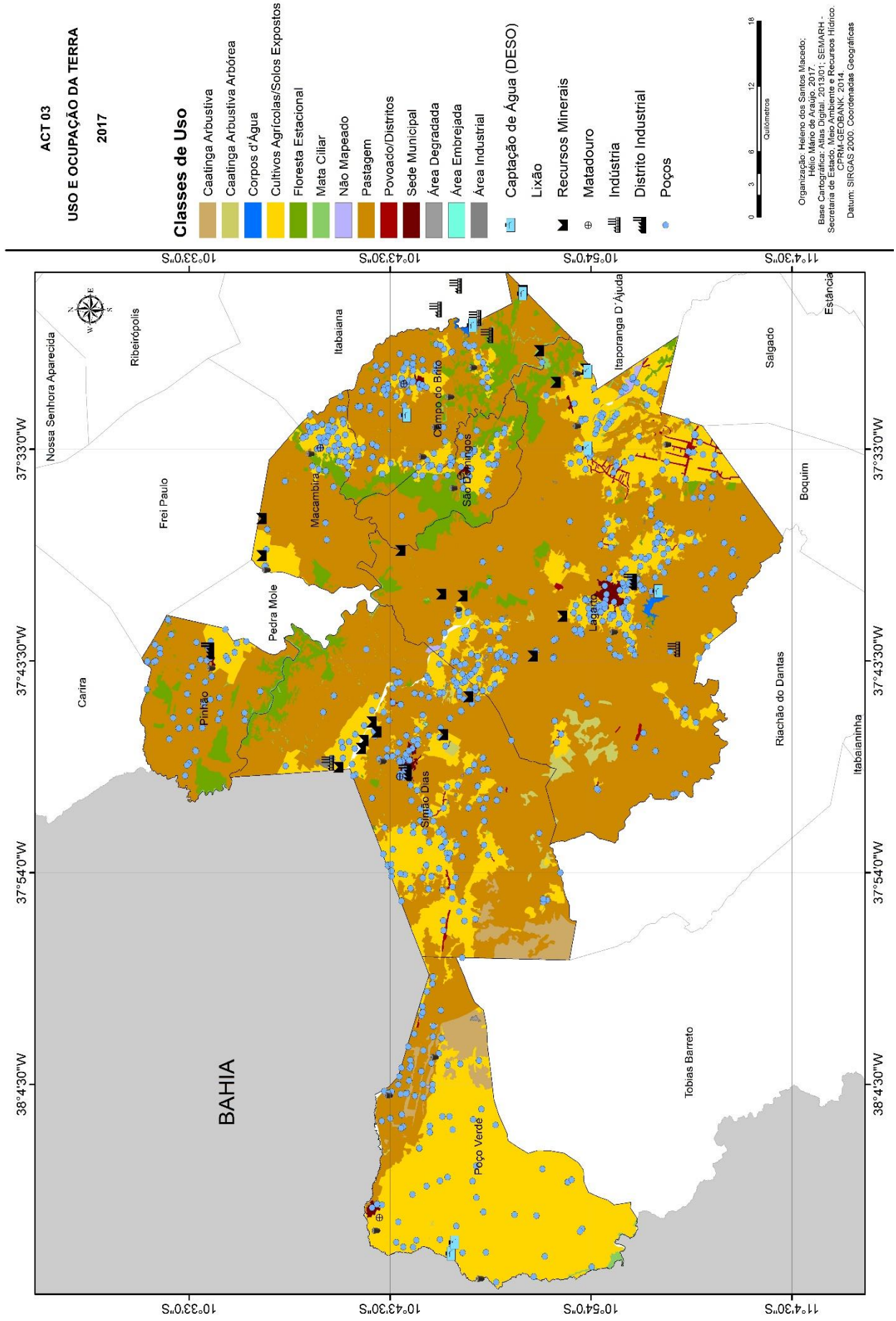


Credito: Heleno dos Santos Macedo, 2016.

Essa área cárstica destaca-se também por possuir importantes indústrias nos diversos setores de atuação, desde os de produtos de base (empresas da extração mineral), como as de bens de produção duráveis e não duráveis, instaladas nos municípios de Lagarto e Simão Dias.

O uso do solo para práticas agropastoris tem provocado impactos diretos sobre as formações cársticas superficiais e subterrâneas, inclusive contaminando aquíferos por meio da inserção de agrotóxicos na implementação da agricultura.

Figura 6.17 – Carste Tradicional Olhos D'água/Frei Paulo – 2018.



Elaboração: Heleno dos Santos Macedo, 2018.

A atividade extrativista também merece destaque nessa faixa do carste sergipano, principalmente, de mármore e calcário. Outro impacto marcante é a demanda hídrica através da implementação de poços tubulares, atividade que ocorre de forma descontrolada.

As matas e florestas ocupam área mínima. Evidencia-se na paisagem problemas causados através da ocupação humana, como a retirada da mata ciliar repercutindo na redução do número de nascentes, e que por sua vez, afeta o abastecimento em praticamente todos os corpos de água que se fazem presentes na área.

Essa situação contribui sem dúvida, para o desencadeamento de mais um conflito pelo uso da água estimulando a perfuração de poços tubulares sem outorga, no intuito de fornecer água necessária para o consumo humano e a dessedentação animal. Esse fato é constatado quando se verifica que a quantidade de poços tubulares utilizados no carste Olhos D'água/Frei Paulo é muito superior ao número oficial de poços com outorga para uso cadastrados na Secretaria de Meio Ambiente e Recursos Hídricos (SEMARH/SE). Isso, em um curto período de tempo, pode acarretar em futuros abatimentos do material litológico provocando sérios problemas.

6.2.1 Dinâmica populacional

Nos municípios reside uma população total de 194.940 mil habitantes, sendo 101.464 mil nas zonas urbanas e 93.955 nas zonas rurais. A população total nesse setor cárstico, corresponde a aproximadamente a metade da população total do carste da Bacia Sergipe que gira em torno de 376.692 habitantes (IBGE,2010).

Os Municípios de Lagarto, Simão Dias, Poço Verde e São Domingos são os que apresentam os maiores contingentes populacionais, estando nas zonas urbanas as maiores concentrações. Os municípios de Macambira e Pinhão são os que possuem os menores contingentes populacionais, estando assentada a maior parte da população nas zonas rurais (IBGE, 2010 - Tabela 6.8).

Os municípios, em termos gerais, apresentaram um crescimento moderado no total da população nos últimos anos (IBGE, 2010). Em 1991 a população total era de 152.576 mil habitantes, passando para um total de 175.801 em 2000 e 194.940 no censo de 2010. O crescimento no período entre 1991 a 2010 foi de 28,15% (Tabela 6.9).

Tabela 6.8 - Carste Tradicional Olhos D'água/Frei Paulo – População total, urbana e rural – 2010.

Municípios	População total 2010 (mil/hab.)	População rural 2010 (mil/hab.)	População urbana 2010 (mil/hab.)
Campo do Brito	16.749	8.419	8.330
Lagarto	94.861	45.994	48.867
Macambira	6.401	3.338	3.063
Pinhão	5.973	3.133	3.319
Poço Verde	21.983	9.671	12.312
São Domingos	10.271	5.124	5.147
Simão Dias	38.702	18.276	20.426
Total	194.940	93.955	101.464

Fonte: IBGE, 2010; PNUD, 2018.

Elaboração: Heleno dos Santos Macedo, 2018.

Tabela 6.9 - Carste Tradicional Olhos D'Água/Frei Paulo – Crescimento Populacional – 2010.

Municípios	População total 1991	População total 2000	População total 2010	Taxa de crescimento (%)
Campo do Brito	13.420	15.175	16.749	24,80
Lagarto	72.144	83.334	94.861	31,48
Macambira	4.968	5.802	6.401	28,84
Pinhão	4.430	5.244	5.973	34,83
Poço Verde	17.666	19.973	21.983	24,43
São Domingos	7.752	9.260	10.271	32,49
Simão Dias	32.196	36.813	38.702	20,20
Total	152.576	175.801	194.940	28,15

Fonte: IBGE, 2010; PNUD, 2018.

Elaboração: Heleno dos Santos Macedo, 2018.

O município de Pinhão foi que apresentou o maior crescimento no período, possuindo uma população total de 4.430 mil habitantes em 1991, passando a ter uma população de 5.973 em 2010 com um aumento de 34,83%. São Domingos apresentou a segunda maior taxa de crescimento entre os municípios registrando um crescimento de 32,49% para o período, seguido pelo município de Lagarto que obteve um aumento de 31,48% da sua população total entre 1991 a 2010, impulsionado principalmente pela expansão das atividades industriais e comerciais implementadas nos últimos anos no município.

Macambira, teve um aumento de 28,84% no total da sua população, saindo de 4.968 em 1991 para 6.401 em 2010. Os municípios de Campo do Brito e Poço Verde tiveram crescimento populacional de aproximadamente de 25% entre 1991 a 2010, e Simão Dias obteve

um crescimento de 20,20% da sua população nas últimas décadas, saindo de uma população total de 32.196 em 1991 para 38.702 em 2010.

Esse crescimento atribui-se, entre outros fatores, a melhoria da qualidade de vida desses municípios ao longo das últimas décadas, principalmente no tocante a taxa de mortalidade infantil, conforme se observa na tabela 6.10.

Tabela 6.10 – Carste Tradicional Olhos D'Água/Frei Paulo – evolução da Taxa de Mortalidade Infantil – 2010.

Municípios	Mortalidade infantil 1991 (%)	Mortalidade infantil 2000 (%)	Mortalidade infantil 2010 (%)	Total da redução (%)
Campo do Brito	48,56	27,54	20,3	58,19
Macambira	48,56	38,76	31,8	34,51
Poço Verde	78,36	46,59	27,3	65,16
Simão Dias	86,81	47,08	23,2	73,27

Fonte: IBGE, 2010; PNUD, 2018.

Elaboração: Heleno dos Santos Macedo, 2018.

O município de Simão Dias teve a maior queda na taxa de mortalidade infantil entre 1991 a 2010, registrando uma redução de 73,27% para o período, saindo de 86,81% em 1991 para 23,2% em 2010. Essa melhora no indicador está associada a melhoria de vários indicadores econômicos no município constatados nos últimos anos, devido, entre outros fatores, a implementação de empresas de mineração, adubos e o desenvolvimento das práticas de agropecuária, com destaque a produção de milho, que coloca o município entre os principais produtores do estado.

No entanto, o município de Macambira, possui ainda uma taxa de mortalidade infantil elevada, em comparação com outros municípios do estado. Em 1991 a taxa de mortalidade infantil era de 48,56% sendo reduzida para 31,08% em 2010, apresentando uma redução de apenas 34,51% para o período (PNUB, 2018).

6.2.2 Atividades Econômicas

A maior parcela da população economicamente ativa desses municípios concentra-se na agropecuária, prestação de serviços, comércio e indústria de transformação. As atividades de extrativismo mineral e SIUP, são as que menos possuem pessoas desenvolvendo atividades econômicas (Tabela 6.11).

Tabela 6.11 - Carste Tradicional Olhos D'Água/Frei Paulo - Taxa de ocupados por setores – 2010.

Municípios	Agropecuário 2010 (%)	Extrativo mineral 2010 (%)	Indústria de transformação 2010 (%)	SIUP 2010 (%)	Construção 2010 (%)	Comércio 2010 (%)	Serviços 2010 (%)
Campo do Brito	28,12	0,27	12,18	0,27	10,8	14,4	30,31
Lagarto	36,01	0,37	10,79	1,11	5,74	14,86	29,59
Macambira	39,44	0,13	13,33	0,34	5,38	8,38	31,5
Pinhão	48,9	-----	3,51	0,44	11,87	7,42	26,62
Poço Verde	51,4	-----	2,19	0,3	6,67	12	26,52
São Domingos	42,41	0,11	12,08	1,14	11,32	6,51	23,61
Simão Dias	36,3	0,45	11,64	0,74	7,23	12,62	29,9

Fonte: IBGE, 2010; PNUD, 2018.

Elaboração: Heleno dos Santos Macedo, 2018.

Em relação a agropecuária, o município de Poço Verde é o que possui a maior concentração da PEA atuando nesse setor, 51,4%, seguido pelos municípios de Pinhão (48,9%) e São Domingos (42,41%). Com exceção de Campo do Brito (que tem como principal atividade o setor de serviços), todos os outros municípios possuem a maior parte da população economicamente ativa concentrada no setor agropecuário (Tabela 6.12).

Tabela 6.12 - Carste da Bacia Sergipe – Participação dos setores na composição do PIB – 2014.

Municípios	PIB (R\$ milhões de reais)	População (Mil habitantes)	PIB per capita (R\$)	VA Agrop. %PIB	VA Serv. %PIB	VA Ind. %PIB
Campo do Brito	102.427	16.870	6.072	4,57	78,37	17,07
Lagarto	696.684	95.746	7.276	6,24	75,64	18,12
Macambira	39.233	6.447	6.085	9,91	81,18	8,91
Pinhão	38.525	6.029	6.390	16,00	74,50	9,50
Poço Verde	116.605	22.138	5.267	7,54	81,93	10,54
São Domingos	58.953	10.349	5.697	5,01	77,99	16,99
Simão Dias	280.579	38.847	7.389	14,93	71,19	13,88
Total da área cárstica	1.333.006	196.426	44.176	9,17	77,26	13,57

Fonte: FIES/IBGE (2014).

Elaboração: Heleno dos Santos Macedo, 2018.

Macambira (31,5%), Campo do Brito (30,31%) e Simão Dias concentram parte da sua população no setor de serviços. O Município de Lagarto, município com a maior desempenho econômico da referida área cárstica, possuem os maiores índices de concentração da sua

população no comércio (14,86%), seguido por Campo do Brito 14,4% e Simão Dias 12,62% (Figura 6.18).

Figura 6.18 – Centro comercial do município de Lagarto.



Crédito: Heleno dos Santos Macedo, 2016.

Macambira possui a maior taxa de população na indústria extrativa (13,33%), seguido por Campo do Brito (12,18%) e São Domingos (12,08%). Na construção civil, Pinhão, São Domingos e Campo do Brito apresentam respectivamente as maiores taxas percentuais, a saber: 11,87%, 11,32% e 10,8% respectivamente.

O extrativismo mineral é o que agrega a menor parcela da população economicamente ativa em todos os municípios variando de 0,45% (Simão Dias) a 0,11% (São Domingos). Nos indicadores referentes ao SIUP, em todos os municípios, apenas uma pequena parcela da população economicamente ativa concentra-se nesse setor (tabela 6.11).

O maior PIB entre os municípios, com o município de Lagarto, no valor de R\$ 696.684 milhões de reais, seguido pelos municípios de Simão Dias R\$ 280.579.000,00 (duzentos e oitenta milhões, quinhentos e setenta e nove mil reais), Poço Verde R\$ 116.605.000,00 (cento e dezesseis milhões, seiscentos e cinco mil reais) e Campo do Brito com R\$ 102.427.000,00 (cento e dois milhões, quatrocentos e vinte sete mil reais)

Ao distribuir o PIB pela população total dos municípios, observa-se que o melhor PIB *per capita* é do município de Simão Dias, com um valor de R\$ 7.389,00 por habitante, seguido pelos municípios de Lagarto (R\$ 7.276,00), Pinhão (R\$ 6.390,00), Macambira (R\$ 6.085,00) e

Campo do Brito (R\$ 6.072,00). O menor índice referente ao PIB *per capita* é do município de Poço Verde, com um valor de R\$ 5.267,00 refletindo baixos indicadores socioeconômicos.

O setor de serviços tem a principal participação no total do PIB nesse setor cárstico, com uma participação de aproximadamente 70 a 80% da economia desses municípios. Em seguida tem-se o setor industrial com uma participação entre 8 a 19%, seguido pelo setor agropecuário, que mesmo sendo um dos setores que mais gera emprego nos municípios do carste Olhos d'água/Frei Paulo possui uma participação de apenas 9,17% (Tabela 6.12).

a) Indústria

A atividade industrial, concentra-se em apenas três municípios: Lagarto, Simão Dias e Poço Verde. As principais indústrias que atuam nesses municípios são dos setores de alimentação, calçados, cal, calcário agrícola, e britas plásticos e bebidas.

O principal grupo industrial, que é o Maratá, localiza-se no município de Lagarto. Esse Grupo existe há mais de 50 anos no mercado, sob a liderança do seu fundador, o sergipano José Augusto Vieira.

Na década de 1960 do século XX, predominavam no município de Lagarto o cultivo, a industrialização do fumo e a pecuária. Diante do crescimento do comércio do fumo, o empresário José Augusto criou a empresa J. Vieira - Indústrias de Fumo Saci Ltda, que contribuiu para a expansão do comércio do fumo para toda a região Nordeste, criando assim a sua própria marca, Fumo Saci, atuante no mercado até os dias atuais. Em 1962, o referido empresário ingressou no setor alimentício através da aquisição da Indústria de Torrefação e Moagem de Café Maratá, dando continuidade à produção do café Maratá, presente atualmente no mercado.

Ampliando seus horizontes pelo estado, um importante marco foi a abertura de uma filial da Indústria de Torrefação e Moagem de Café Maratá, conhecida como Fumo Maratá, aumentando a fabricação de diferentes tipos de fumos e seus derivados, em escala de produção cada vez maior. Na década de 1970, cria-se uma nova indústria para o grupo, a Maratá Indústrias de Embalagens, objetivando amplitude de produção, com a fabricação de produtos de diversas medidas e formatos (saco, bobina, sacolas) transparentes, pigmentadas, lisas e impressas, com várias matérias primas.

Outro mercado prospectado pelo Grupo em meados da década de 1990, foi o setor de bebidas. Fundou-se a Maratá Indústria de Aguardentes, através do processo de moagem da cana

de açúcar. Mais tarde, ampliou sua linha de produção, com a produção para vinhos e uísque. A marca Maratá tornou-se um sucesso internacional com a Empresa Maratá Sucos do Nordeste Ltda, uma indústria processadora de sucos e concentrados de polpas, fornecendo e exportando matéria-prima para empresas engarrafadoras e outras empresas do ramo alimentício, que utilizam o suco de frutas como base para seus produtos.

Um novo empreendimento do Grupo Maratá no Município de Lagarto foi inaugurado na última década destinada a produção de toda linha de derivados de milho como flocão, floquinho, mingau, salgadinhos, temperos e farinha láctea – a JAV - Indústria de Alimentos (Figura 6.19).

Figura 6.19 – Unidade Industrial IVL – Produção e envasamento das linhas de molho.



Crédito: Maratá, 2015.

Outro importante empreendimento foi a indústria de "Embalagens Maratá", que atende a toda demanda de embalagens a base de polietileno do Grupo Maratá e possui um pequeno índice de perda de matéria-prima devido ao controle de reciclagem de aparas¹. Por último, o Grupo Maratá fundou em Lagarto a sua indústria responsável pela produção e envasamento de todos os produtos da linha de molhos, vinagres e fermentados acéticos. Preservando a qualidade e assegurando a satisfação de todos os consumidores.

¹ Sobras dos cortes de acabamento de papel, filmes plásticos, ou papéis já usados.

Outra importante indústria no carste tradicional Olhos D'Água/Frei Paulo, é a de extração de metacalcário para o uso da agropecuária, a Cal Trevo. Fundada em 2006, atua na extração de calcário e beneficiamento associado, fabricação e comercialização de cal virgem, cal hidratada, calcário agrícola e britas.

A Cal Trevo possui certificação na ISO 9001, que garante que a unidade fabril observa os mais altos critérios de produção. Localizada no município de Simão Dias, povoado Apertado de Pedras, a Cal Trevo destaca-se no setor mineral, por ser uma empresa que investe continuamente em inovação tecnológica, visando práticas sustentáveis em meio a sua atividade econômica. Os principais produtos da unidade fabril são: cal, calcário agrícola e britas.

Sua área de lavra ocorre em trechos próximos da sede da fábrica, em área onde se faz presente algumas feições cársticas superficiais e subterrâneas, tais como, dolinas, lapiás e cavernas (Figura 6.20). As explosões realizadas para obtenção da matéria-prima na área de lavra acarretam vibrações dentro das cavidades, sendo uma ameaça a estrutura delas.

Figura 6.20 – Área de Lavra da Cal Trevo no município de Simão Dias.



Crédito: Heleno dos Santos Macedo, 2016.

Segue a descrição dos produtos produzidos pela unidade da Cal Trevo na área cárstica tradicional Olhos D'Água/Frei Paulo (Quadro 6.2).

Quadro 6.2 – Descrição dos produtos da Cal Trevo.

PRODUTO	DESCRIÇÃO
Calcário Calcítico e Dolomítico	Obtido através da moagem de rochas de calcários e é utilizado como corretivo de solo. Fórmula química: $\text{CaCO}_3.\text{MgCO}_3$
Cal Virgem Calcítica	A cal virgem calcítica (ou calcítica calcinada) é obtida através da calcinação do calcário calcítico. Fórmula química: CaO
Cal Hidratada Industrial	A cal hidratada (ou hidróxido de cálcio) é um pó seco, resultante da hidratação controlada da cal virgem com água. Essa reação produz calor. Fórmula química: Ca(OH)_2
Britas	Obtida a partir da britagem do calcário. Disponibilizamos o pó de brita e britas nº 0, 1, 2, 3, 4.

Organização: Heleno dos Santos Macedo, 2018.

Outra unidade fabril de relevância é a Fábrica de calçados Dakota, instalada nos municípios de Simão Dias e Poço Verde. Fundada em 07 de dezembro de 1976, a Dakota atualmente é uma das maiores empresas calçadistas da América Latina, com 8 fábricas distribuídas nos estados do Rio Grande do Sul, Ceará e Sergipe. Sua capacidade de produção hoje é de 80.000 pares de calçados por dia, exportando para todo o mundo.

O grupo está dividido em três empresas: A Dakota S/A, que mantém duas unidades no estado do Rio Grande do Sul, municípios de Sarandi e Nova Petrópolis; a Dakota Nordeste S/A, com quatro unidades no estado do Ceará, municípios de Quixadá, Maranguape, Russas e Iguatu e a Dakota Calçados S/A com duas unidades no estado de Sergipe, nos municípios de Simão Dias e Poço Verde. Hoje, o número de funcionários ultrapassa 12 mil em todo o grupo.

A Dakota Calçados chegou a Poço Verde e Simão Dias através dos incentivos fiscal e locacional concedidos pelo Governo de Sergipe – por meio do Programa Sergipano de Desenvolvimento Industrial (PSDI). O investimento para construção das fábricas nos municípios foi de exatos R\$ 22.527.489,00, como informa detalhadamente o portal da Prefeitura Municipal de Poço Verde e Simão Dias (Figura 6.21). Em Poço Verde a previsão inicial era de gerar 300 empregos, mas em 2017 atingiu 500 empregos diretos. Na unidade de Simão Dias, atualmente, possui 2.500 funcionários.

Figura 6.21 – Unidade da Dakota Calçados em Simão Dias.



Crédito: MC Engenharia, 2017.

b) Atividades Agropecuárias

Agropecuária é a principal atividade econômica no carste tradicional Olhos d'água/Frei Paulo, a qual desempenha um importante papel na geração de emprego e renda, interferindo nos setores do comércio, com a presença de lojas especializadas em auxiliar os produtores, além de prestação de serviços voltados ao atendimento do setor agropecuário.

Em todos os municípios predomina o uso da terra com a prática de pastagens (naturais ou plantadas). Dos 257.045,4 ha que somam o total da área desses municípios. 113.352,553 ha estão vinculados a prática da pastagem, perfazendo um total de 55,90% (tabela 6.13).

As práticas da lavoura, permanente e temporárias ocupam o segundo maior uso do solo para área com um total 43.075,848 ha representando no total da área 17,10%. Matas e florestas, representam um pouco mais de sete por cento da cobertura do solo, indicador preocupante para manutenção dos sistemas que dependem desse ambiente para manutenção das atividades biológicas.

Tabela 6.13 - Carste Tradicional Olhos D'Água/Frei Paulo. Utilização das Terras, 2017.

Municípios	Área total (ha)	Utilização das Terras											
		Lavoura				Pastagens				Matas e Florestas			
		Permanente		Temporária		Naturais		Plantadas		Naturais		Plantadas	
		Área (ha)	%	Área (ha)	%	Área (ha)	%	Área (ha)	%	Área (ha)	%	Área (ha)	%
Campo do Brito	20.148,5	105,182	0,52%	1.603,736	7,96%	1.424,536	7,07%	7.630,191	37,87%	1.095,180	5,44%	-----	
Lagarto	96.892,1	4.451,743	4,59%	8.601,353	8,88%	14.736,650	15,21%	35.912,071	37,06%	6.237,397	6,44%	10,530	
Macambira	13.752,9	19,002	0,14%	1.906,003	13,86%	505,798	3,68%	5.988,104	43,54%	802,739	5,84%	-----	
Pinhão	15.633,0	18,519	0,12%	3.536,324	22,62%	3.570,396	22,84%	2.357,584	15,08%	1.291,494	8,26%	-----	
Poço Verde	43.983,0	226,292	0,51%	11.014,770	25,04%	13.081,077	29,74%	2.341,552	5,32%	1.462,627	3,33%	-----	
São Domingos	10.199,9	118,037	1,16%	721,016	7,07%	1.080,476	10,59%	3.050,078	29,90%	95,480	0,94%	-----	
Simão Dias	56.436,0	491,167	0,87%	10.262,704	18,18%	10.955,784	19,41%	10.718,256	18,99%	6.311,024	11,18%	-----	
ACT OLHOS D'ÁGUA	257.045,4	5.429,942	2,11	37.645,906	14,65	45.354,717	17,64	67.997,836	26,45	17.295,941	6,73	10,53	0,01

Organização: Heleno dos Santos Macedo, 2018.

Fonte: Censo Agropecuário, 2017.

O município de Lagarto é o que possui a maior extensão territorial dentre os municípios com um total em hectares de 96.892,1, seguido pelo município de Simão Dias com um total de 56.436,0 hectares e Poço verde com 43.983,0 ha, o terceiro maior território na área em questão. Lagarto possui a maior porção de terra destinada a prática da pastagem com um total de 52,27% da área, destacando-se principalmente, as pastagens plantadas (37,06%). No tocante, a prática da lavoura, lagarto possui apenas 13,47% das suas terras destinadas a tais práticas agrícolas, sobressaindo-se lavoura temporária (8,88%).

Macambira possui a segunda maior área destinada a prática da pastagem com um total de 47,22%, sendo a pastagem plantada de 43,54% em contraponto a pastagem natural que possui um total de 3,68%. Campo Brito possui 37,87% de pastagens plantadas e 7,07% de pastagens naturais. São Domingos possui 40,49% de terras destinadas a pastagem, sendo 10,59% de pastagens naturais e 29,90% de pastagens plantadas. Simão Dias destina 40,49% do seu território, com 18,99% de pastagens plantadas e 19,41% pastagens naturais, sendo inclusive, o único município nesse setor cárstico a possuir uma taxa de pastagem natural superior a pastagem plantada.

O município de Poço Verde é o que destina a menor parcela do uso do seu solo para prática da pastagem. Dos seus 43.983,0 hectares, apenas 15.422,629 hectares são destinados para essa prática, sendo 13.081,077 (29,74%) de pastagens naturais e 2.341,552 de pastagem plantada (5,32%). Porém, o que chama a atenção, é que entre os municípios ele é o que possui a maior parcela das suas pastagens naturais. Esse baixo índice é causado principalmente pelos longos períodos de estiagem no município nas últimas décadas, acarretando ao criador a abdicar da prática, pois, o número de animais que sucumbe a essa condição é expressivo.

Em relação as áreas com presença de matas e florestas, Simão Dias é o que possui os maiores índices, com um total de 6.311,024 ha (11,18%), seguido por Lagarto com um total de 6.237,397 ha (6,44%) e Poço verde com 1.462,627 ha (3,33%), todos compostos de matas e florestas naturais. Pinhão, possui em proporção a segunda maior faixa de matas e Florestas, com 8,26% do seu solo destinado para esse fim.

Sobre a prática da lavoura, os municípios, de modo geral, possuem a maior parcela do seu solo destinado a prática da lavoura temporária, (14,65%) restando 2,11% para lavoura permanente. Nesse contexto os principais cultivos são o milho, com uma área colhida de 19.763,764 ha e uma quantidade de 64.075,316 toneladas, seguido pela cultura da mandioca (2.737,117 há) de área colhida e quantidade produzida de 40.247,675 toneladas e as culturas do feijão e abóbora com uma área colhida de 2.302,022 e 489,229 hectares e quantidade produzida de 2.137,074 e 2.422,38 toneladas por município (Tabela 6.14).

Tabela 6.14 - Carste Tradicional da Olhos D' Água/Frei Paulo-Produção dos Produtos agrícolas - 2017.

Municípios	Feijão		Milho		Abóbora		Mandioca	
	Área colhida (ha)	Quant. Prod. (t)	Área colhida (ha)	Quant. Prod. (t)	Área colhida (ha)	Quant. Prod. (t)	Área colhida (ha)	Quant. Prod. (t)
Campo do Brito	7,625	4,193	486,193	1.163,123	0,793	2,846	330,702	2.915,556
Lagarto	32,567	16,160	2.628,973	16.697,775	220,435	794,040	1.762,605	33.045,360
Macambira	9,365	5,305	1.062,810	3.469,864	15,503	52,050	39,280	270,270
Pinhão	108,287	36,918	2.147,887	7.156,938	9,999	26,240	-----	-----
Poço Verde	2.007,069	1.963,947	5.829,603	8.788,443	8,380	61,150	-----	-----
São Domingos	21,745	10,870	66,008	158,274	0,955	1,224	574,900	3.800,077
Simão Dias	115,364	99,681	7.542,290	26.640,899	233,164	1.484,830	29,630	216,412
ACT OLHOS D'ÁGUA	2.302,022	2.137,074	19.763,764	64.075,316	489,229	2.422,38	2.737,117	40.247,675

Organização: Heleno dos Santos Macedo, 2018.

Fonte: Censo Agropecuário, 2017.

O milho é o principal produto agrícola nessa área, devido as várias características associadas as condições do solo e do clima nesse setor cárstico. O milho é destinado tanto para obtenção de grãos no intuito do fornecimento para alimentação humana, como também, para a produção e silagem, destinada a alimentação dos rebanhos, principalmente em períodos de forte estiagem.

O município de Simão Dias é o que possui a maior área colhida e consequentemente a maior quantidade produzida, com respectivamente 7.542,290 hectares para 26.640,899 toneladas. Nos últimos anos, Simão Dias vem obtendo recorde na produção de milho, sendo um dos principais produtores desse tipo de grão no estado. Em seguida tem-se o município de Lagarto com 2.628,973 hectares em área colhida para uma produção de 16.697,775 toneladas de quantidade produzida. A produção do milho atende ao mercado interno como também o mercado externo, principalmente os estados da Bahia e Alagoas, tanto na venda do grão, quanto na venda do silo para municípios que sofrem com a seca.

A cultura do milho também se configura como a principal lavoura temporária nos municípios de Poço Verde e Pinhão (Tabela 6.15). Poço verde possui uma área colhida de 5.829,603 hectares, com uma quantidade produzida em torno de 8.788,443 toneladas. A produção de milho em Poço verde oscila de acordo com os longos períodos de estiagem, fenômeno comum para o município. Pinhão também dependente das oscilações do tempo e suas interferências sobre a cultura do milho, possuindo altos e baixos em sua produção, obtendo 7.156,938 toneladas produzidas para uma área colhida de 2.147,887 (IBGE,2017).

Tabela 6.15 - Carste Tradicional Olhos D' Água/Frei Paulo – Produção da Pecuária – 2017.

Municípios	Efetivos dos Principais Rebanhos					
	Bovinos	Suínos	Equinos	Muare	Ovinos	Galináceos
Campo do Brito	11.471	2.936	699	125	838	48.834
Lagarto	51.312	2.586	3.965	647	5.574	299.787
Macambira	6.578	495	222	66	1.131	17.936
Pinhão	5.015	695	503	42	1.396	12.279
Poço Verde	13.848	478	848	95	10.521	18.124
São Domingos	5.082	1.191	147	112	378	13.577
Simão Dias	22.375	988	1.052	154	5.425	244.808
ACT OLHOS D'ÁGUA	115.681	9.369	7.436	1.241	25.263	655.345

Organização: Heleno dos Santos Macedo, 2018.

Fonte: Censo Agropecuário, 2017.

Macambira e São Domingos destinam uma pequena parcela do solo para a prática da cultura do milho. No censo agropecuário de 2017, o município de Macambira obteve uma área colhida de 1.062,810 hectares com produção de 3.469,864 toneladas e São Domingos possuiu uma área colhida de 66,008 hectares com uma produção total de 158,274 toneladas do Grão.

A mandioca é a segunda principal atividade de lavoura temporária praticada nessa área cárstica, com um total de área colhida de 2.737,117 há e quantidade produzida de 40.247,675 toneladas. O município de Lagarto é o principal produtor entre os municípios, com uma área colhida em hectares de 1.762,605, com uma quantidade produzida de 33.045,360 toneladas, seguido pelos municípios de São Domingos (574,900 há) de área colhida e quantidade produzida de 3.800,077 t, e, Campo do Brito (330,702 há) de área colhida e quantidade produzida de 2.915,556 t respectivamente. Pinhão e Poço Verde, não possui dados informados sobre esse tipo de cultura.

No tocante a produção de feijão o município de Poço Verde é o principal produtor do grão, bem como no estado de Sergipe nas últimas décadas, mesmo ocorrendo oscilações no total de área colhida e quantidade produzida devido a prolongados períodos de estiagem. O município, segundo o último censo agropecuário (2017) obteve um total de área colhida de 2.007,069 hectares com uma quantidade produzida de 1.963,947 toneladas. O Povoado Saco do Camisa é um dos principais produtores do grão no município.

Os demais municípios possuem uma produção pequena desse grão, já que boa parte se destinam a maior parcela do seu solo para produção do milho. Após o município de Poço Verde, Simão Dias possui a segunda maior produção, com uma área colhida de 115,364 ha e quantidade produzida de 99,681 toneladas, seguido por Pinhão (108,287 ha) área colhida e quantidade produzida de 36,918 t e Lagarto com 32,567 hectares de área colhida e 16,160 t.

Outra cultura temporária importante no contexto do carste é a da abóbora, que abastece os demais municípios do estado. O município de Simão Dias é o principal fornecedor com uma área colhida de 233,164 hectares e uma produção de 1.484,830 toneladas, seguido pelos municípios de Lagarto com 220,435 hectares de área Colhida e 794,040 toneladas de quantidade produzida e Poço Verde com 8,380 hectares de área colhida e 61,150 toneladas em quantidade produzida.

Em relação ao efetivo dos principais rebanhos, destaca-se a criação de galináceos (655.345), bovinos (115.681), ovinos (25.263), suínos (9.369) e Muares 1.241 (Tabela 5.15). O município de Lagarto possui a maior quantidade de galináceos, seguido pelo município de Simão Dias.

Em 2017, esse efetivo produziu 655.345 cabeças, ficando à frente dos demais efetivos no conjunto da área cárstica, chegando a atingir 80,47%, restando apenas 14,20% para o rebanho bovino (115.681 cabeças), 3,10% para ovinos (25.263 cabeças), 1,15% para suínos (9.369 cabeças), 0,91% para equinos (7.436 cabeças) e 0,15% para muares (1.241 cabeças).

Lagarto destaca-se como maior produtor de galináceos, com 299.787 cabeças, possuindo modernos aviários e mercado consumidor do seu rebanho garantido. Simão Dias, com uma produção um pouco menor (244.808 cabeças), coloca-se na segunda posição. A produção conjunta desses municípios é destinada ao mercado interno, principalmente as redes de supermercado do Centro-Sul sergipano e as feiras locais espalhadas por outros municípios em todo o estado.

O rebanho bovino representa o segundo maior efetivo, conforme se observar na tabela 5.16, somando 115.681 cabeças, número superior aos municípios do carste tradicional da Bacia Sergipe. Lagarto possui o maior efetivo, com 51.312 cabeças e Simão Dias com um efetivo de 22.375 cabeças ocupa a segunda posição no tocante a esse efetivo para o carste Olhos d'água/Frei Paulo. Os municípios de São Domingos e Pinhão possuem os menores rebanhos nesse efetivo com um total de 5.082 e 5.015 cabeças respectivamente.

Os rebanhos de ovinos no carste Olhos D'água/Frei Paulo, e superior ao efetivo do carste da Bacia Sergipe. O rebanho de ovinos nessa área totaliza 25.263 cabeças, sendo o município de Poço Verde o principal criador com 10.521 cabeças, seguido por Lagarto que possui um rebanho aproximadamente duas vezes menor (5.574 cabeças) e Simão Dias com 5.425 cabeças.

No tocante ao rebanho de suínos, Campo do Brito possui o maior efetivo desse setor cárstico, com 2.936. Lagarto e São Domingos possuem o segundo e terceiro rebanho desse efetivo, com 2.586 e 1.191 cabeças respectivamente.

A produção de equinos e muares é inexpressiva no contexto do carste Olhos d'Água/Frei Paulo, chegando a possuir no total 7.436 cabeças de equinos e 1.241 cabeças de muares, sendo Lagarto o principal criador desses rebanhos, com 3.965 equinos e 647 muares.

c) Extrativismo Mineral

Em relação as atividades de extração mineral, o carste Tradicional Olhos D'Água/Frei Paulo possui poucas unidades em operação cadastradas junto ao DNPM (Quadro 6.3). As áreas de mineração presente nesse setor cárstico concentram-se nos municípios de Simão Dias, Lagarto, Campo do Brito e Macambira. As principais substâncias são o mármore com 08 áreas de depósitos e 01 de ocorrência e a argila com 03 área de depósitos.

Lagarto possui 02 depósitos e 07 áreas de ocorrência, sendo a argila e o mármore suas áreas de depósitos e entre as áreas de ocorrência encontra-se quartzo, mármore, argila, silício e existe um indício de enxofre na Serra Preta. Simão Dias, possui 05 depósitos de mármore e mais 04 ocorrências de mármore, argila e quartzo (Figura 6.22). Macambira possui dois depósitos de mármore, enquanto Campo do Brito possui duas ocorrências de substâncias minerais, uma de ouro e outra de chumbo.

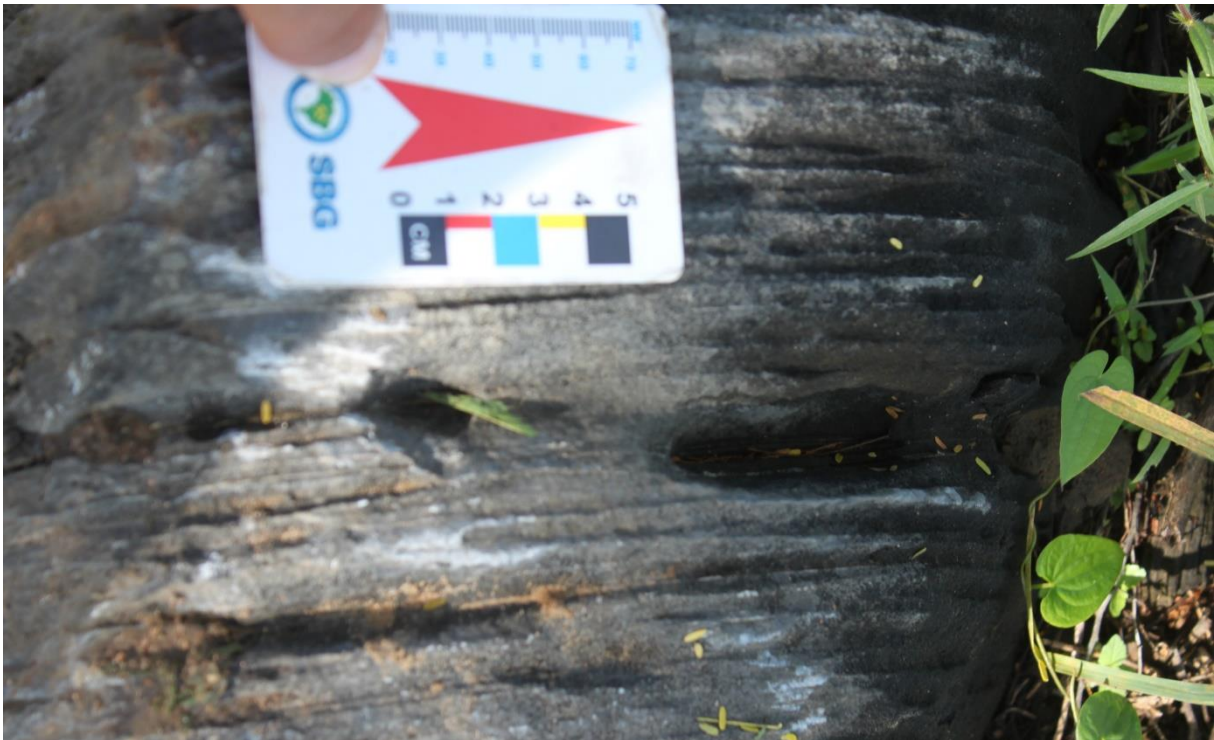
Os mármore extraídos nesse setor cárstico são classificados como Metacarbonatos (calcários e dolomitos) do Grupo Vaza-Barris, Formação Olhos D'Água com baixo grau metamórfico, intercalados a metapilitos (Figura 6.23).

Figura 6.22 – Extração de mármore em Simão Dias/SE.



Crédito: Heleno dos Santos Macedo, 2016.

Figura 6.23 – Metacalcário dolomítico intercalado com metapilitos em Simão Dias/SE



Crédito: Heleno dos Santos Macedo, 2016.

Quadro 6.3 – Área de extração mineral no Carste Tradicional Olhos D'água/Frei Paulo – 2018.

MUNICÍPIO	LOCAL	TIPO LAVRA	FORMA	Substância	GRUPO
Lagarto	Genipapo II	Não explotado	Depósito	Arg	Rochas e Minerais Industriais
Lagarto	Jenipapo	Garimpo	Ocorrência	Arg	Rochas e Minerais Industriais
Lagarto	Jundiata	Garimpo	Ocorrência	Arg	Rochas e Minerais Industriais
Simão Dias	Fazenda Taboca do Durval	(Não determinado)	Ocorrência	Qz	Rochas e Minerais Industriais
Lagarto	Serra Preta	Mina	Indício	S	Rochas e Minerais Industriais
Campo do Brito	Faz. Santo Antônio	(Não determinado)	Ocorrência	Pb	Metais não Ferrosos e Semimet
Lagarto	Bueiro (Pedreira do Daniel)	Garimpo	Ocorrência	Sil	Material de Construção Civil
Simão Dias	Apertado de Pedras	Mina	Depósito	Mm	Material de Construção Civil
Simão Dias	Proximidades do Rio Caiçá	(Não determinado)	Ocorrência	Mm	Material de Construção Civil
Simão Dias	Fazenda Cumbe	Garimpo	Depósito	Mm	Material de Construção Civil
Simão Dias	Fazenda Mata	Não explotado	Depósito	Mm	Material de Construção Civil
Macambira	Pedreira SERGICAL	Garimpo	Depósito	Mm	Material de Construção Civil
Lagarto	Serra Preta	(Não determinado)	Ocorrência	Mm	Material de Construção Civil
Simão Dias	Sítio Laranjeiras	(Não determinado)	Depósito	Fi	Material de Construção Civil
Campo do Brito	Ribeira	Não explotado	Ocorrência	Au	Metais Nobres
Lagarto	Fazenda Carica	Não explotado	Depósito	Mm	Material de Construção Civil
Macambira	Fazenda Junco	Mina	Depósito	Mm	Material de Construção Civil
Simão Dias	Apertado de Pedra	Não explotado	Depósito	Mm	Material de Construção Civil

Elaboração: Heleno dos Santos Macedo, 2018; Fontes: CPRM (2002) e DNPM (2018).

d) Sistemas de abastecimentos: Poços Tubulares e captação superficial

O carste Olhos d'água/Frei Paulo possui uma demanda significativa de poços tubulares em todos os municípios que o compõem. O uso desse tipo de recurso ocorre devido ao baixo quantitativo de corpos d'águas superficiais e longos períodos de estiagem, fenômeno comum nessa área cárstica. Os municípios de Lagarto, Simão Dias e Poço Verde são os que possuem o maior número de poços.

O principal destino desses poços é para aplicação da água para a dessedentação animal, para o consumo humano, além do uso para implementação de sistemas de irrigação, com ênfase para a cultura do milho.

No tocante ao tipo de aquífero, o carste Olhos d'água/Frei Paulo possui os três tipos: Cárstico, Granular e Fissural. O aquífero cárstico possui 153 poços tubulares cadastrados, sendo a maioria localizados nos municípios de Simão Dias e Poço Verde os que mais possuem poços tubulares nesse tipo de aquífero. São 352 poços em aquífero fissural, com destaque para os municípios de Lagarto e 286 poços tubulares em aquífero granular

Sobre o carste, a incidência de poços é comum. Alguns desses poços feitos ao longo dos últimos anos, foram responsáveis pela identificação de cavidades nos municípios de Lagarto, Simão Dias e Poço Verde.

Um dos mais conhecidos poços tubulares desse setor cárstico, fica no município de Simão Dias, conhecido popularmente como Furna do Dorinha, como também foi reconhecida pela comunidade espeleológica de Abismo de Simão Dias (Figura 6.24). Esse abismo permite o acesso ao aquífero cárstico da área, sendo utilizado como fonte de água para algumas propriedades próximas.

Assim, como no carste da Bacia Sergipe, problemas de contaminação do aquífero são comuns no carste olhos d'água, vinculados ao uso de agrotóxicos, fertilizantes, chorume, descarte inadequado de resíduos sólidos em cabeceiras de drenagem e em dolinas (área de captação pluvial durante os períodos de precipitação)

A maior parte dos poços tubulares desse setor cárstico, são irregulares, acelerando o processo de captação e consequentemente provocando o rebaixamento do nível freático, podendo levar em certos casos o colapso.

A DESO utiliza alguns desses poços para abastecer alguns povoados dos municípios vinculados ao carste Olhos D'Água/Frei Paulo. Destaca-se os poços do sistema Cachorro Morto e Mimoso em Poço Verde, poços do sistema Divina Pastora em Campo do Brito e os poços do

sistema Jenipapo e Brasília no município de Lagarto. Simão Dias, Macambira, Pinhão e São Domingos, não possuem poços feitos pela DESO para atender a demanda hídrica criada pelas atividades econômicas e sociais.

Figura 6.24 – Abismo de Simão Dias (furna do “Dorinha”).



Crédito: Isaias Santos, 2013.

Alguns rios e/ou riachos são utilizados, para abastecer alguns desses municípios como por exemplo, o riacho da Ribeira e a Barragem da Cajaíba em Campo do Brito. Em lagarto um outro corpo de água superficial também é utilizado para o abastecimento de alguns povoados e da própria sede do município a Barragem do Dionísio Machado (Figura 6.25).

A Barragem Dionísio de Araújo Machado construída e finalizada na década de 1980, pelo então governador da época, João Alves Filho, através do Projeto Chapéu de Couro, era voltada para irrigação agrícola no perímetro irrigado do rio Piauí e teve o propósito de amenizar os impactos da estiagem na região.

Figura 6.25 – Barragem Dionísio de Araújo Machado, em Lagarto/SE.



Crédito: Kaio Feitosa, 2016.

Além disso, em razão da carência de espaços de lazer no município, a Barragem Dionísio Machado se transformou num lugar de visitação e entretenimento para a população de Lagarto e região, surgindo um potencial turístico para ser explorado. Ao longo dos anos, houve várias pequenas ações feitas pelo município para melhorar o aspecto no local, mas nada igual a uma grande intervenção projetada para atender de forma estruturada aos visitantes e turistas.

Em 2013 foi destinado recursos na ordem de 2 milhões de reais via Ministério do Turismo para construção da orla da BDAM. Por se tratar de uma propriedade pertencente ao governo do Estado/COHIDRO, foi decidido que o proponente fosse o próprio Governo.

e) Aterro Sanitário e Lixões

No carste tradicional Olhos D'Água/Frei Paulo não existe áreas apropriadas ao descarte de resíduos sólidos. O lixo é descartado a céu aberto em terrenos baldios que ficam nas margens de rodovias. Esse descarte atrai animais que utilizam desse ambiente para a manutenção da sua alimentação, bem como, pessoas trabalhando de forma irregular no processo de separação desse lixo para a obtenção de renda. Além disso, o lixo também é descartado dentro de feições exocársticas como dolinas e uvalas, como se identifica em Simão Dias, Poço Verde e Pinhão (Figura 6.26).

Figura 6.26 – Resíduo sólido descartado em uma dolina - Simão Dias/SE.

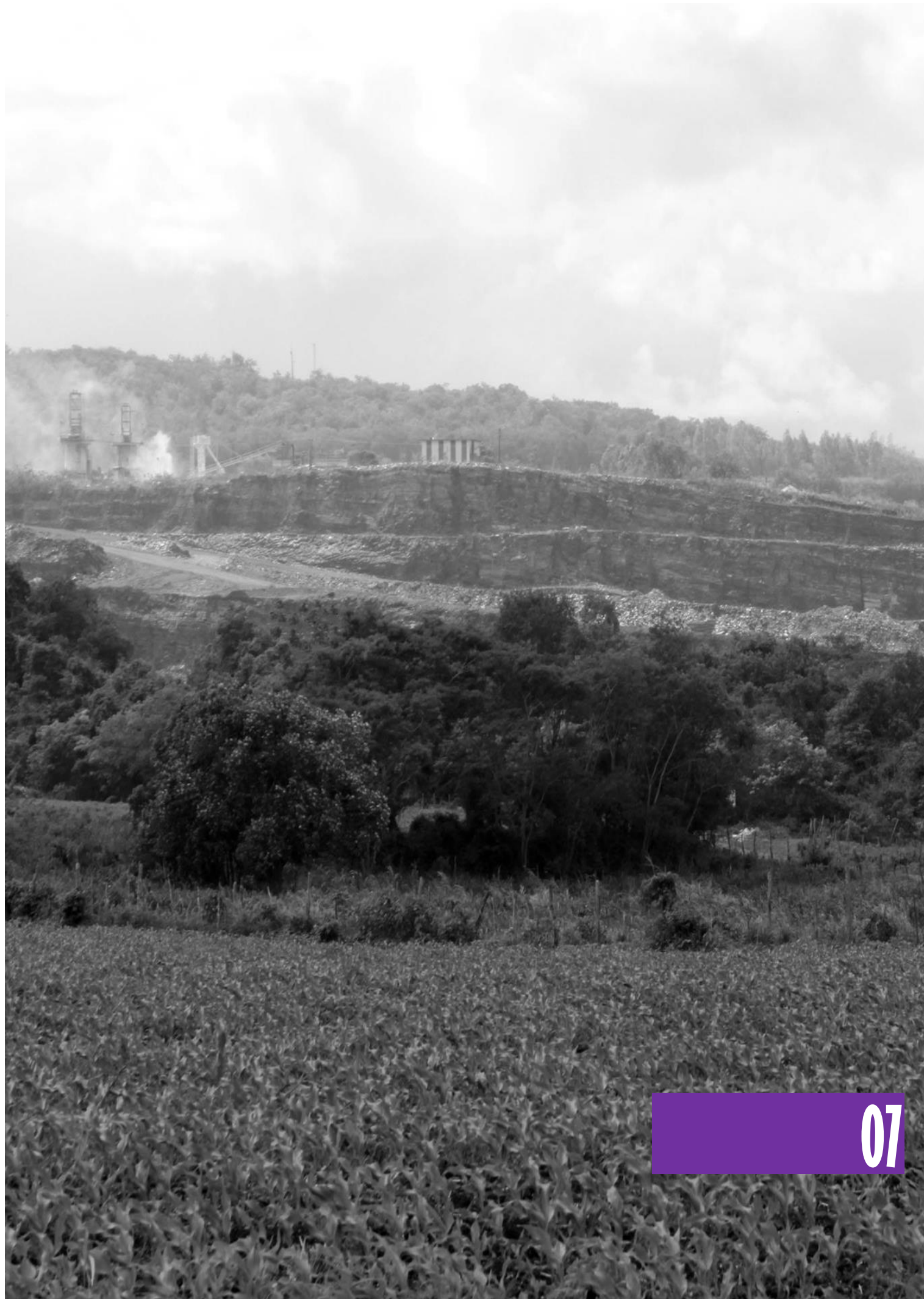


Crédito: Heleno dos Santos Macedo, 2016.

Um dos impactos mais deletérios e sentidos a partir dos lixões é o resultante e decorrente da decomposição do lixo orgânico, do qual se origina um líquido característico, turvo e fétido, lixiviado ou chorume, que termina por infiltrar-se no solo, causando sua contaminação. Esse é um tipo de poluição muito difícil de ser remediado e de impactos, sobretudo imponderáveis, na saúde de quaisquer seres vivos que, porventura, venham se utilizar dos lençóis freáticos do entorno destes depósitos de lixo (BERTO NETO, 2009).

Tais impactos estarão sempre presentes, pelo inadequado descarte de resíduos sólidos, quando ausente uma política pública de gestão e gerenciamento, dispensada a estes, resultando na poluição de lençóis freáticos com possível desenvolvimento de surtos epidêmicos à saúde.

No geral, como foi exposto, a paisagem cárstica Olhos D'Água/Frei Paulo encontra-se bastante alterada, fruto dos processos de uso e ocupação desordenados implementadas ao longo do tempo, sem se levar em consideração que essa ocupação precisa manter o equilíbrio com os demais componentes ambientais necessários para manutenção da sociedade humana, e dos demais ecossistemas que formam a referida área cárstica.



07. ANÁLISE DA VULNERABILIDADE NATURAL E AMBIENTAL DAS ÁREAS DO CARSTE TRADICIONAL DE SERGIPE

7.1 A Vulnerabilidade Natural e Ambiental do Carste em Sergipe

A carta de vulnerabilidade natural visa apresentar a predisposição do ambiente frente a fatores ambientais naturais como a geologia, a geomorfologia, solos, aquíferos, clima, cobertura vegetal, a estabilidade em relação à morfogênese e pedogênese. A carta de vulnerabilidade ambiental refere-se à susceptibilidade do ambiente a pressões antrópicas.

Para a vulnerabilidade natural são descritos cada elemento e sua (s) variável (eis) utilizadas na elaboração da carta síntese. Para a carta de vulnerabilidade ambiental são integrados a carta síntese de vulnerabilidade natural mais a as informações de uso e ocupação do solo.

7.1.1 A Vulnerabilidade Natural e Ambiental do Carste Bacia Sergipe

a) Geologia

Segundo Santos et. al. (2003), a geologia é um fator pouco abordado em estudos de vulnerabilidade. Porém, no tocante as paisagens cársticas, a geologia, com ênfase a litologia, se configura como um dos principais fatores na análise de vulnerabilidade, pois o tipo de rocha é um dos fatores condicionantes para o processo de formação de paisagens cársticas.

O Grau de dissolução da rocha é fator preponderante para a formação de paisagens cársticas, bem como, as rochas encaixantes, pois se tornam um fator que corrobora para que esse processo possa ser acelerado ou não.

Diante desse contexto, valores para avaliação da vulnerabilidade a partir do tipo de rocha, foram distribuídos seguindo as características de permeabilidade e porosidade de cada litologia e o seu respectivo grau de susceptibilidade para dissolução (tabela 7.1) sendo próximo de 1 menos permeável e porosa e 3 uma rocha mais suscetível a esses fatores controladores para o desenvolvimento de um ambiente cárstico.

Tabela 7.1 – Valores de estabilidade para litologia.

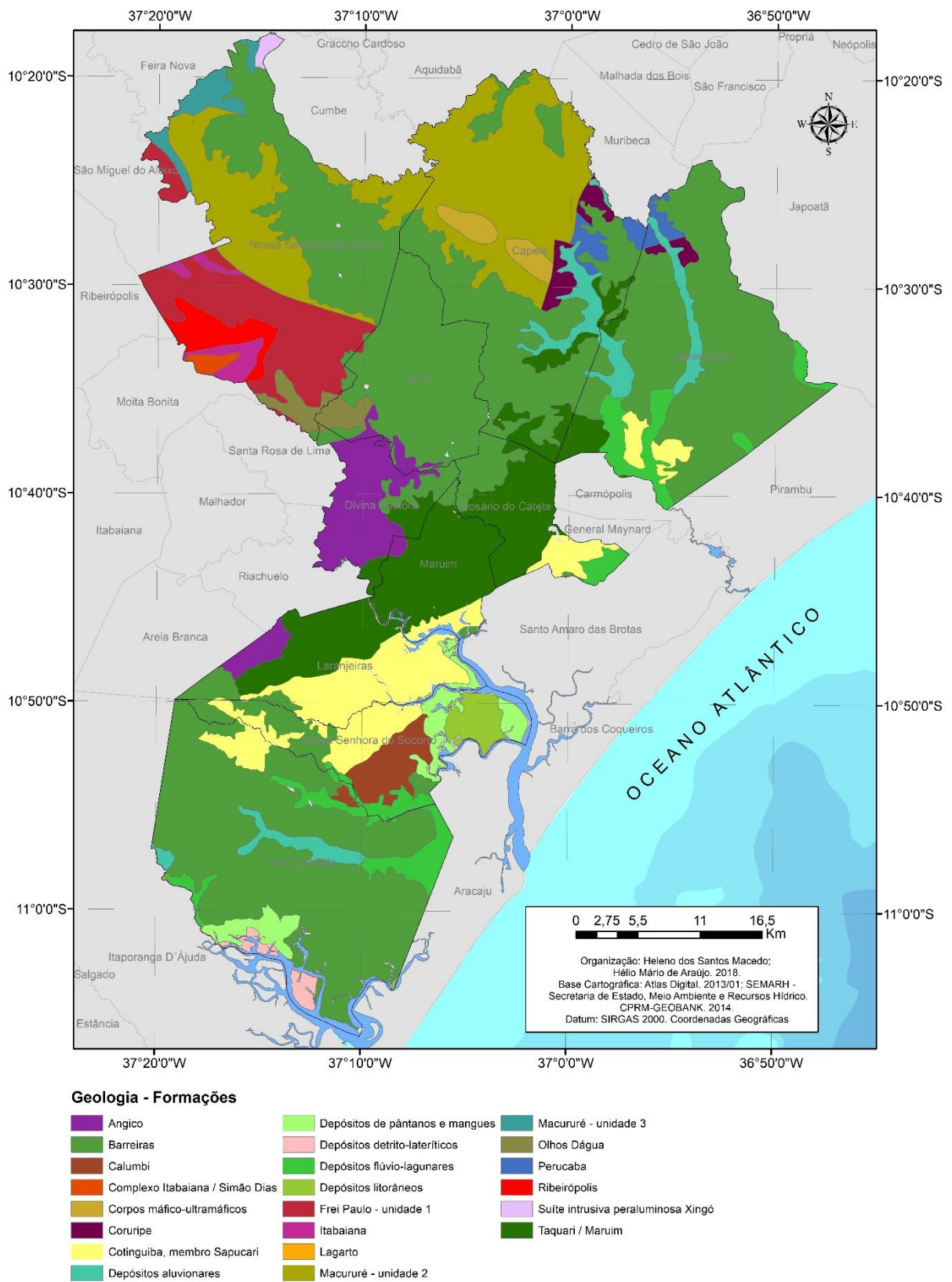
LITOLOGIA	VALOR
Anfibolito, Gabro, Metagranito	1,5
Arcóseo, Arenito, Argilito, Folhelho	2,5
Arcóseo, Arenito, Calcário, Folhelho	2,5
Areia, Argila	3,0
Areia, Pelito	3,0
Arenito Lítico, Conglomerado, Grauvaca, Grauvaca Lítica	2,5
Arenito, Arenito Conglomerático, Argilito Arenoso	2,5
Arenito, Argilito, Folhelho	2,5
Arenito, Argilito, Siltito	2,5
Calcarenito, Calcilutito, Calcirrudito, Folhelho	3,0
Calcário, Dolomito, Filito, Metachert	3,0
Calcário, Folhelho	3,0
Calcilutito, Calcário	3,0
Filito, Folhelho, Metacalcário, Metarenito, Metarritmito	2,5
Filito, Granito, Metaconglomerado, Quartzito, Rocha Metavulcânica	2,0
Gabro	1,0
Granito, Granodiorito, Migmatito	1,0
Metagrauvaca, Metarenito, Metarritmito, Rocha Metavulcânica	1,5
Metagrauvaca, Rocha Metavulcânica Básica	1,5
Micaxisto, Mármore, Quartzito	1,5
Sedimento Aluvionar, Sedimento Detrito-Laterítico	3,0
Sedimento Detrito-Laterítico	3,0

Elaboração: Heleno dos santos Macedo, 2018

O carste da bacia Sergipe está situado de forma preponderante em rochas do tipo sedimentar. Em alguns trechos, principalmente nas bordas dos Domínios Vaza-Barris e Macuré, encontramos rochas metassedimentares (Figura 7.1).

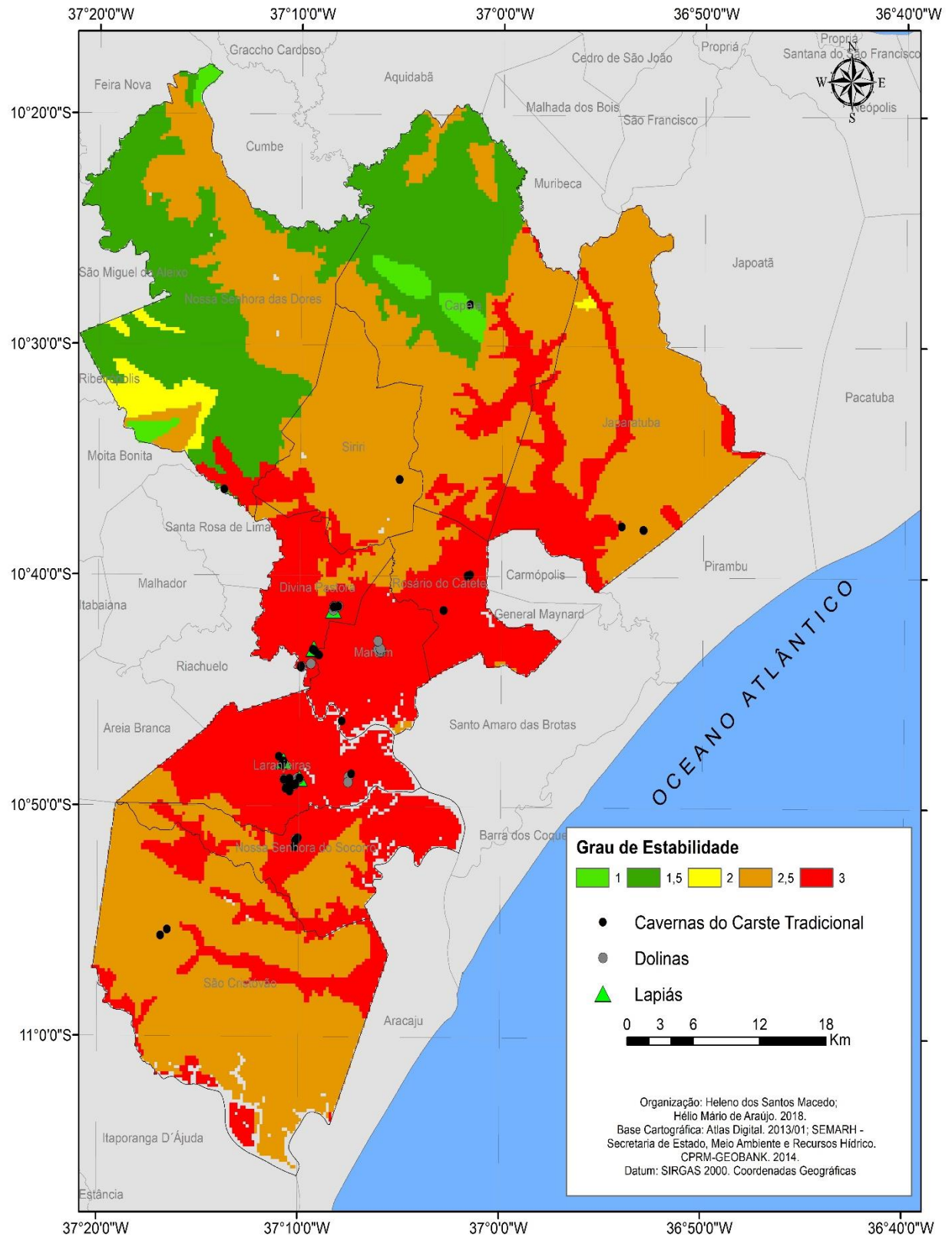
Diante desse contexto, o carste Bacia Sergipe, possui um grau de estabilidade do material rochoso baixo (2,5 – 3,0), pois, a maior parte do material constituinte dessas estruturas favorece a infiltração da água, o que contribui para a aceleração dos processos morfogenéticos. A maior parcela das feições cársticas (cavernas, dolinas, lapiás) estão localizadas nas áreas consideradas de menor instabilidade (3,0) – figura 7.2.

Figura 7.1 – Composição litológica. Área Cárstica Bacia Sergipe.



Organização: Heleno dos Santos Macedo, 2018.

Figura 7.2 – Grau de Estabilidade da litologia. Área Cárstica Bacia Sergipe.



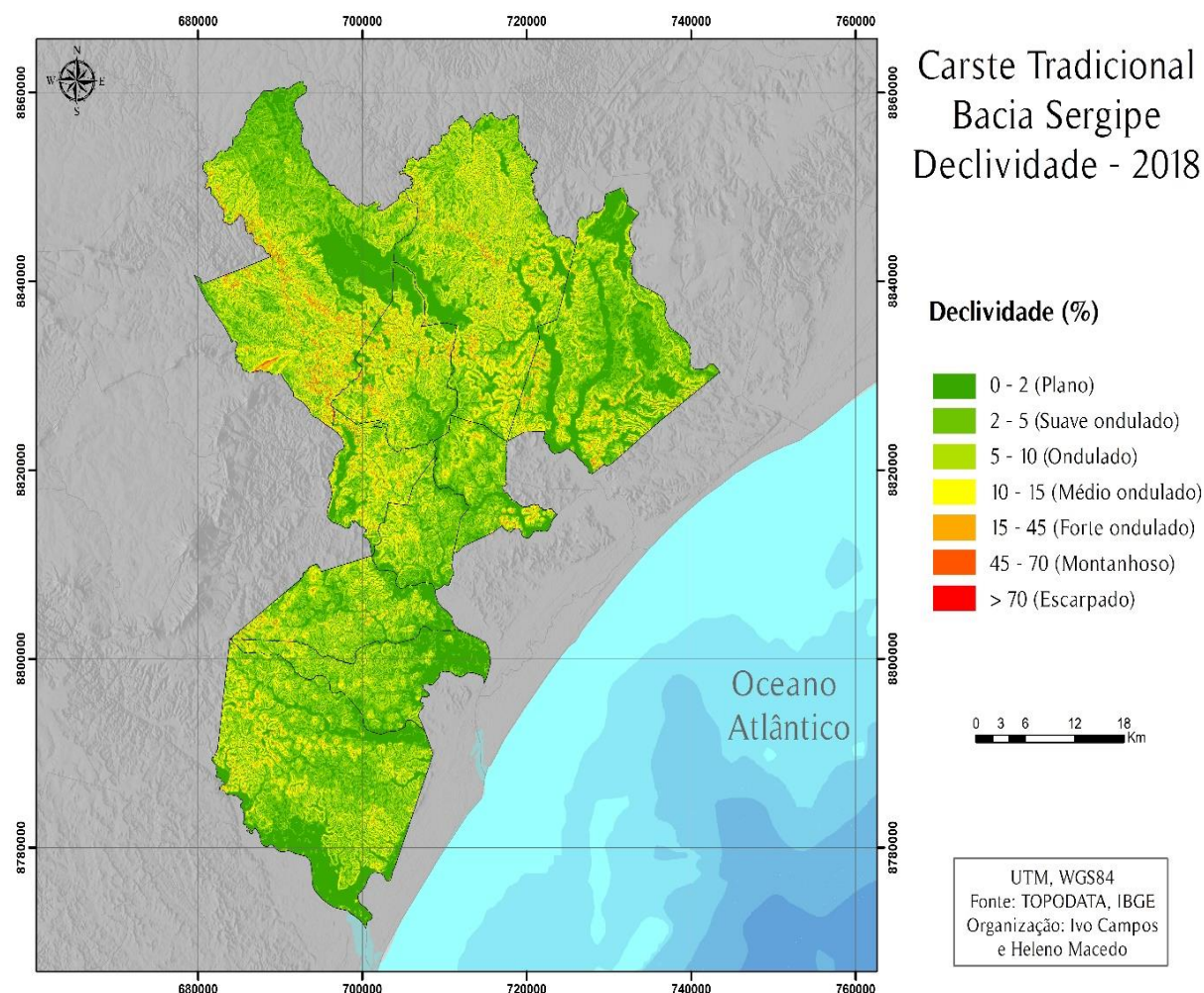
Organização: Heleno dos Santos Macedo, 2018.

b) Geomorfologia

Nos aspectos geomorfológicos foram utilizadas as variáveis subclasses do relevo e declividade. A declividade está diretamente relacionada com o grau de estabilidade do relevo. Quanto maior a declividade o grau de estabilidade será menor. Porém, a depender do material constituinte, declividades acentuadas podem ser mais estáveis que os terrenos de menor declividade. Por isso, há necessidade de relacionar a subclasse do relevo com o material constituinte para poder mensurar o quanto a declividade pode atuar nos processos pedogenéticos ou morfogenéticos.

A declividade apresenta características de plano a médio ondulado, com declividades variando entre 2 a 15% (tabela 7.2). Em alguns trechos existem feições que apresentam uma declividade entre 45 a 70%, mas, não são preponderantes na paisagem (figura 7.3).

Figura 7.3 – Declividade. Área Cárstica Bacia Sergipe.



Organização: Ivo Campos, 2018.

Tabela 7.2 - Valores de estabilidade de acordo com a declividade

RELEVO	%	VALOR
Plano	0 - 2	0 – 1,15
Suave ondulado	2 – 5	1,15 – 2,86
Ondulado	5 – 10	2,86 – 5,71
Médio ondulado	10 – 15	5,71 – 8,53
Forte ondulado	15 – 45	8,53 – 24,23
Montanhoso	45 – 70	24,23 - 34,99
Escarpado	>70	>34,99

Elaboração: Heleno dos santos Macedo, 2018

A Paisagem em questão possui cinco subclasses do relevo: Pediplano Sertanejo, planície Costeira, serras residuais, superfície de rios e tabuleiros costeiros. As unidades Pediplano e Serras residuais são constituídos por rochas metamórficas, de menor porosidade e consequentemente de maior grau de estabilidade.

As Unidades planície costeira de superfícies de rios são constituídos por rochas sedimentares de origem química e/ou orgânica, material de desagregado ou clastos como os arenitos e arenitos conglomerados. A unidade Tabuleiro Costeiro é constituída por sedimentos do Grupo Barreiras de origem terciário/quaternário. Essas subclasses vão possuir um grau de estabilidade menor, pois os materiais constituintes possibilitam uma maior ação da morfogênese (tabela 7.3).

Tabela 7.3 – Valores de estabilidade para as Unidades do Relevo

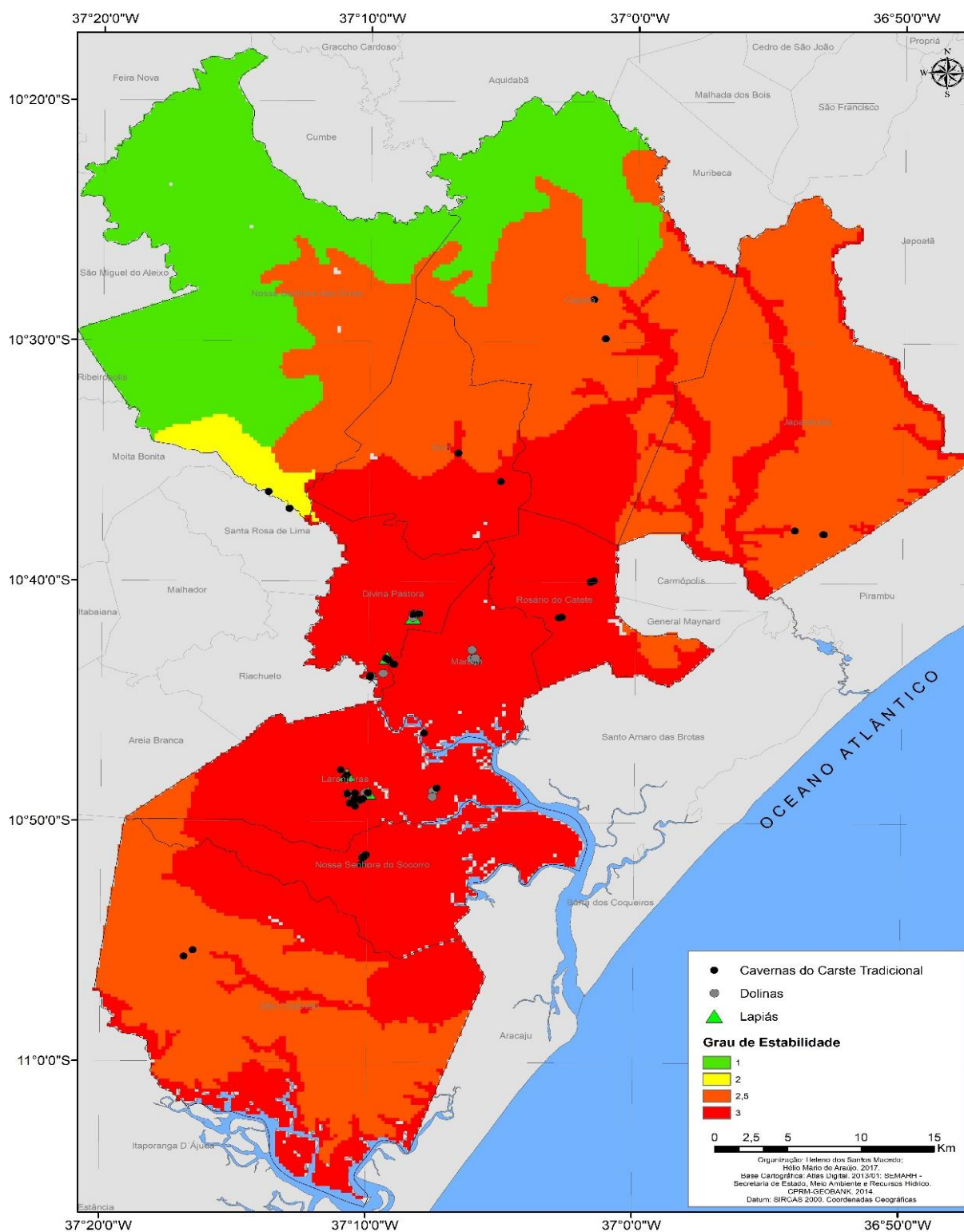
UNIDADE DO RELEVO	VALOR
Pediplano Sertanejo	1,0
Planície Costeira	3,0
Serras Residuais	2,0
Superfícies de rios	3,0
Tabuleiros costeiros	1,5

Elaboração: Heleno dos santos Macedo, 2018

A partir da integração de dados referente a declividade e subclasses, foi possível elaborar a carta de estabilidade do relevo do carste Bacia Sergipe (figura 7.4). Pode-se observar que onde há maior incidência das unidades Planície Costeira, Superfície de Rios e Tabuleiros

Costeiros, associados as declividades plano a médio ondulado (0 a 15%) são os que apresentam e menor grau de estabilidade (entre 2,5 a 3,0). Esse grau de estabilidade é, em decorrência, do material litológico de sub-superfície, e não à baixa declividade do relevo.

Figura 7.4 – Grau de estabilidade do relevo. Área Cárstica Bacia Sergipe.



Organização: Helena dos Santos Macedo, 2018

Essa mesma condição de interferência do material de substrato é observada para as unidades do relevo Pediplano Sertanejo e Serra Residuais, onde o grau de estabilidade será maior (entre 1 e 2). As declividades nessas áreas mesmo sendo categorizadas como forte ondulado a escarpado (15 a 70%) não interferiram para a instabilidade do relevo.

As paisagens cársticas estão em áreas que apresentam a média a elevados graus de estabilidade. A maior parte em elevado grau de estabilidade, principalmente as feições localizadas nos municípios de Nossa Senhora do Socorro, Laranjeiras, Divina Pastora, Rosário do Catete. Isso ocorre devido as essas áreas estarem em uma unidade do relevo onde os processos erosivos são mais acentuados do que os que se encontram nas áreas próximas às serras dissecadas (como é o caso das feições de Nossa Senhora das Dores).

c) Hidrogeologia

A água é um recurso natural limitado dotado de valor econômico (PNRH, 1997) e sua conservação é imprescindível para que se alcance um desenvolvimento sustentável. Para tanto, a gestão descentralizada dos recursos hídricos deve ser parte importante no planejamento e tomada de decisões do governo.

As águas subterrâneas ganham destaque por representarem a maior parcela das águas doces em estado físico líquido, geralmente ter boa qualidade natural e por, em alguns casos, apresentar inviabilidade técnica ou econômica para recuperação da qualidade de seus mananciais depois de contaminados, fato este que leva a manutenção da qualidade das águas subterrâneas ser indispensável (Foster et al., 2006).

A precariedade de infraestrutura em saneamento básico presentes nos municípios dessas áreas cársticas ocasiona a implementação de sistemas de saneamento *in situ*, como tanques sépticos, filtros biológicos e sumidouros que são, em maior parte, construídos sem obedecer a critérios técnicos de engenharia. É comum tanques, que deveriam ser estanques, permitindo a percolação do esgoto no solo, contribuindo para a recarga do aquífero. Há ainda situações em que os esgotos são destinados às fossas rudimentares, rede de drenagem, valas ou corpos hídricos.

Para a avaliação do grau de estabilidade do sistema hidrogeológico foi selecionada a variável “tipo do aquífero”, relacionando o reservatório ao tipo de litologia que forma esse reservatório. Para os aquíferos de rochas ígneas e metamórficas, (granito, gnaisses, entre outros) foram atribuídos valores de 1,0 a 1,5. A presença de metassedimentos (metacalcário, quartzito,

entre outros) foi pontuada com 2,0 e os aquíferos de rochas sedimentares (calcário, arenito) foram pontuados entre 2,0 a 3,0 (tabela 7.4).

Tabela 7.4 – Valores de estabilidade para Tipos de Aquíferos.

TIPO DO AQUÍFERO	GRAU
Aquiclude	3,0
Cárstico	2,5
Cárstico/Fissural	2,0
Fissural	1,0
Fissural muito fraturado	1,5
Granular	3,0

Elaboração: Heleno dos santos Macedo, 2018

Esse indicador, também, mostrou que o tipo de litologia na qual o reservatório está inserido é fator determinante para mensurar o grau de estabilidade. Os valores de menor estabilidade (2,1 – 3,0) estão nas áreas onde predomina os aquíferos cársticos, granular e as águas de contato denominadas de aquiclude (figura 7.5). As áreas que possuem aquíferos do tipo Fissural, fissural fraturado e cárstico/fissural, são os que apresentam graus maiores de estabilidade (entre 1,0 a 2,0).

Essas áreas de menor estabilidade compreendem áreas urbanas, com construções irregulares ou que não obedecem a critérios técnicos de engenharia, ou ainda com falhas na manutenção, intensificando os riscos de contaminação dos mananciais subterrâneos.

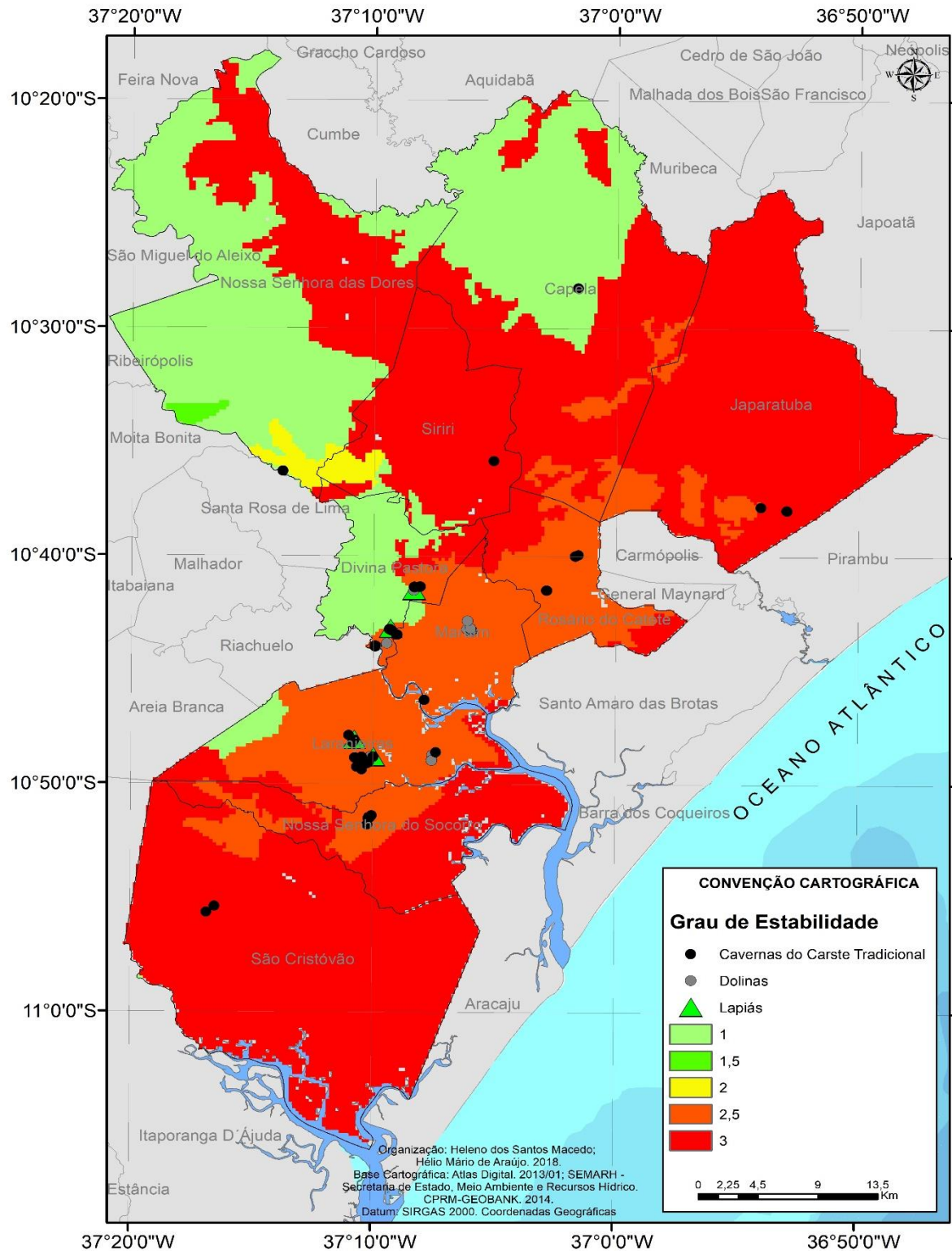
Como exemplo, tem-se as zonas industriais de processamento do calcário para a fabricação e cimento, que mal instaladas ou operadas, liberam efluentes para os riachos que estão no entorno dessas unidades fabris.

Postos de gasolinas, que não realizarem manutenção em seus tanques submersos constante, acabam contaminando o lençol freático; resíduos sólidos depositados em solo impróprio, cemitérios mal instalados, fossas negras adensadas, canais de drenagem permeáveis que recebem contribuições de esgoto sanitário, redes de esgotamento sanitário com precárias manutenções e estações de tratamento de esgoto sanitário que permitam a percolação de carga poluidora para o aquífero freático. Maiores devem ser as preocupações em aquíferos não confinados, especialmente nas áreas em que a zona vadosa é pouco espessa.

As feições cársticas presentes nessa área se encontram nas áreas de menor grau de instabilidade (aquíferos Sapucari e taquari). Apenas uma das feições cársticas está presente em

uma unidade de maior estabilidade. A Caverna da Pedra Feia localizada em Nossa Senhora das Dores, desenvolve-se sobre um aquífero do tipo cárstico/fissural.

Figura 7.5 – Grau de estabilidade da Hidrogeologia. Área Cárstica Bacia Sergipe.



Organização: Heleno dos Santos Macedo, 2018

d) Pedologia

Nas duas últimas décadas, os termos “solos frágeis” e “fragilidade do solo” vêm sendo cada vez mais utilizados em artigos e publicações científicas. Com maior frequência, são empregados para referir-se aos solos de textura superficial arenosa, geralmente mais suscetíveis à erosão hídrica e/ou eólica do que os mais argilosos. Entretanto, também são utilizados para indicar a presença de solos muito intemperizado, com ausência ou baixa reserva de nutrientes; solos com excesso de salinidade; solos situados em encostas íngremes; entre outros (CASTRO *et. al.* 2015).

Em qualquer sistema, ao nos referirmos a fragilidade, o termo nos remete a ideias de sensibilidade, suscetibilidade a alteração, degradação e distúrbios, mudanças nas condições naturais, bem como tempo de retorno às condições de equilíbrio após perturbação. A tarefa de conceituar, ou definir, o que seja um solo frágil, entretanto, é difícil e talvez nem seja possível.

O termo geralmente designa situações de alto risco potencial de degradação do solo. Porém, a fragilidade de um solo é acentuada de acordo com seu uso. Solos descobertos para prática da pastagem e implementação de atividades agrícolas, são, atualmente, os mais estudados no intuito de compreender como se comportam diante de tal pressão.

O carste Bacia Sergipe caracteriza-se por apresentar oito tipos de solos: Argissolos, Chernossolos, Espodossolos, Gleissolos, Latossolos, Luvisolos, Neossolos e Vertissolos. Os valores de grau de estabilidade para cada tipo, seguiu as orientações de Crepani *et. al.* (2001), levando em consideração a vulnerabilidade que cada solo tem frente aos processos erosivos (tabela 7.5).

Tabela 7.5 – Valores de estabilidade para tipo de solo.

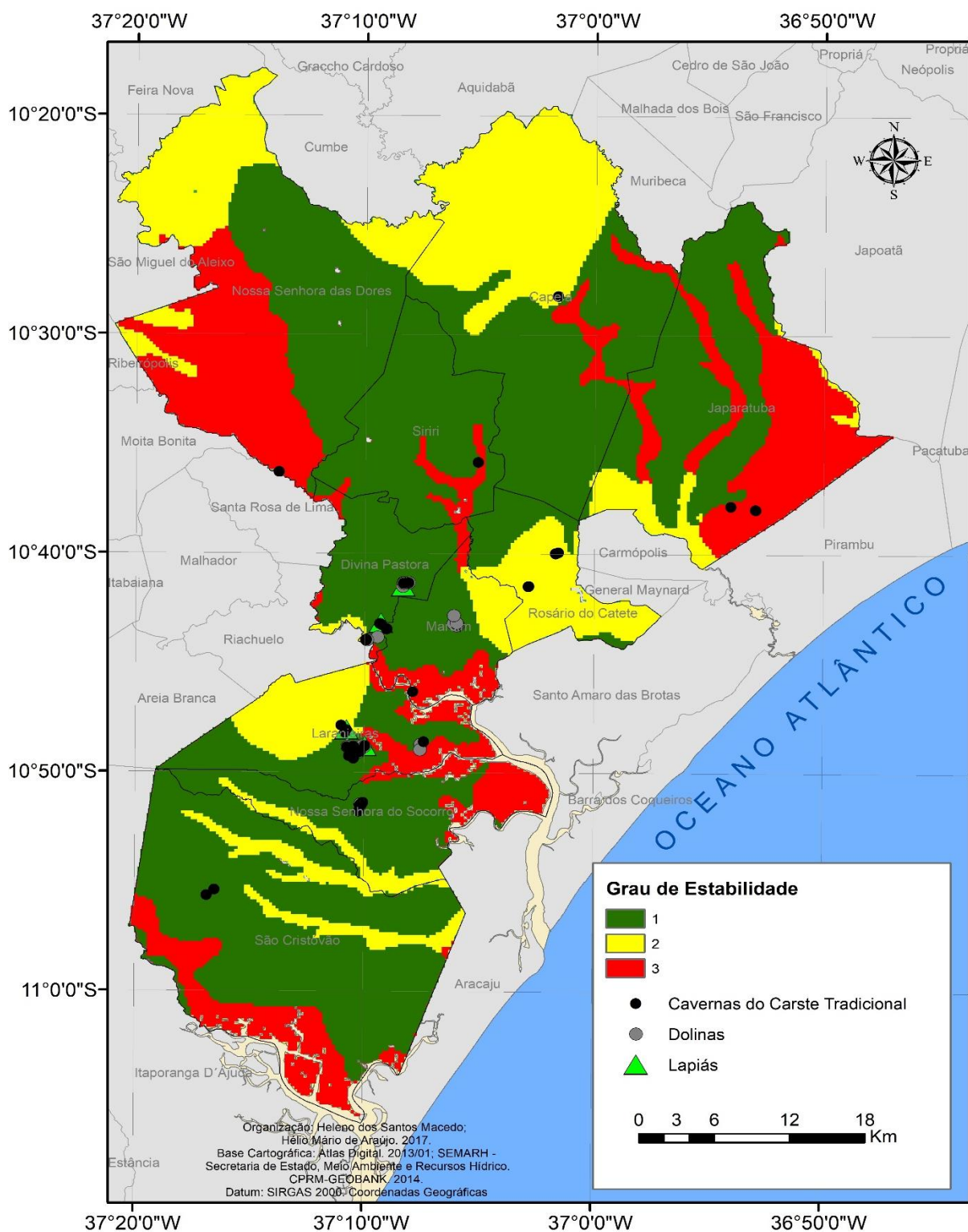
TIPO DE SOLO	VALOR
Argissolos	1,0
Latosolos	1,0
Chernossolos	2,0
Luvisolos	2,0
Espodossolos	3,0
Gleissolos	3,0
Neossolos	3,0
Vertissolos	2,0

Elaboração: Heleno dos santos Macedo, 2018

A partir do cruzamento dos valores para cada tipo de solo, constatou-se que parte significativa dessa área cárstica possui baixo grau de vulnerabilidade em relação ao tipo do

solo. Os solos predominantes na paisagem é o Argissolos e o Latossolos, solos que possuem maior estabilidade frente aos processos de erosão (CREPANI *et al.*, 2001). A maior parte das feições cársticas encontram-se sobre esse tipo de solo (figura 7.6).

Figura 7.6 – Grau de estabilidade dos solos. Área Cárstica Bacia Sergipe.



Organização: Heleno dos Santos Macedo, 2018

Algumas feições cársticas encontram-se em solos que possuem a condição intermediária de estabilidade, o caso dos Chernossolos, Luvisolos e Vertissolos. Os solos que apresentaram o maior grau de vulnerabilidade são Espodossolos, Gleissolos e Neossolos, solos que por sua natureza, são categorizados como frágeis, mais susceptíveis aos processos morfogenéticos. Nessa classe também encontramos feições cársticas como a Gruta da Pedra Branca em Maruim.

e) Cobertura vegetal

A cobertura vegetal representa a defesa da unidade de paisagem contra os efeitos dos processos modificadores das formas de relevo. A ação da cobertura vegetal na proteção da paisagem se dá de várias formas (CREPANI et al., 1996):

- Evita o impacto direto das gotas de chuva contra o terreno que promovem a desagregação das partículas;
- Impede a compactação do solo que diminui a capacidade de absorção de água;
- Aumenta a capacidade de infiltração do solo pela difusão do fluxo de água.

A densidade de cobertura vegetal determina a capacidade de proteção da unidade, ou seja, determina se o valor se aproxima da estabilidade (1,0), se apresenta valores intermediários (ao redor de 2,0), ou se apresenta baixa densidade de cobertura vegetal, sendo então, vulneráveis e apresentando valores próximos a 3,0. Na tabela 7.6 estão descritos os tipos de cobertura vegetal presentes na área e seus respectivos valores atribuídos com relação a sua vulnerabilidade, segundo Crepani et al. (2001).

Tabela 7.6 – Valores de estabilidade para cobertura vegetal.

COBERTURA VEGETAL	VALOR
Área das formações pioneiras	1,5
Áreas de tensão ecológica	3,0
Floresta estacional	1,0
Savana	2,0

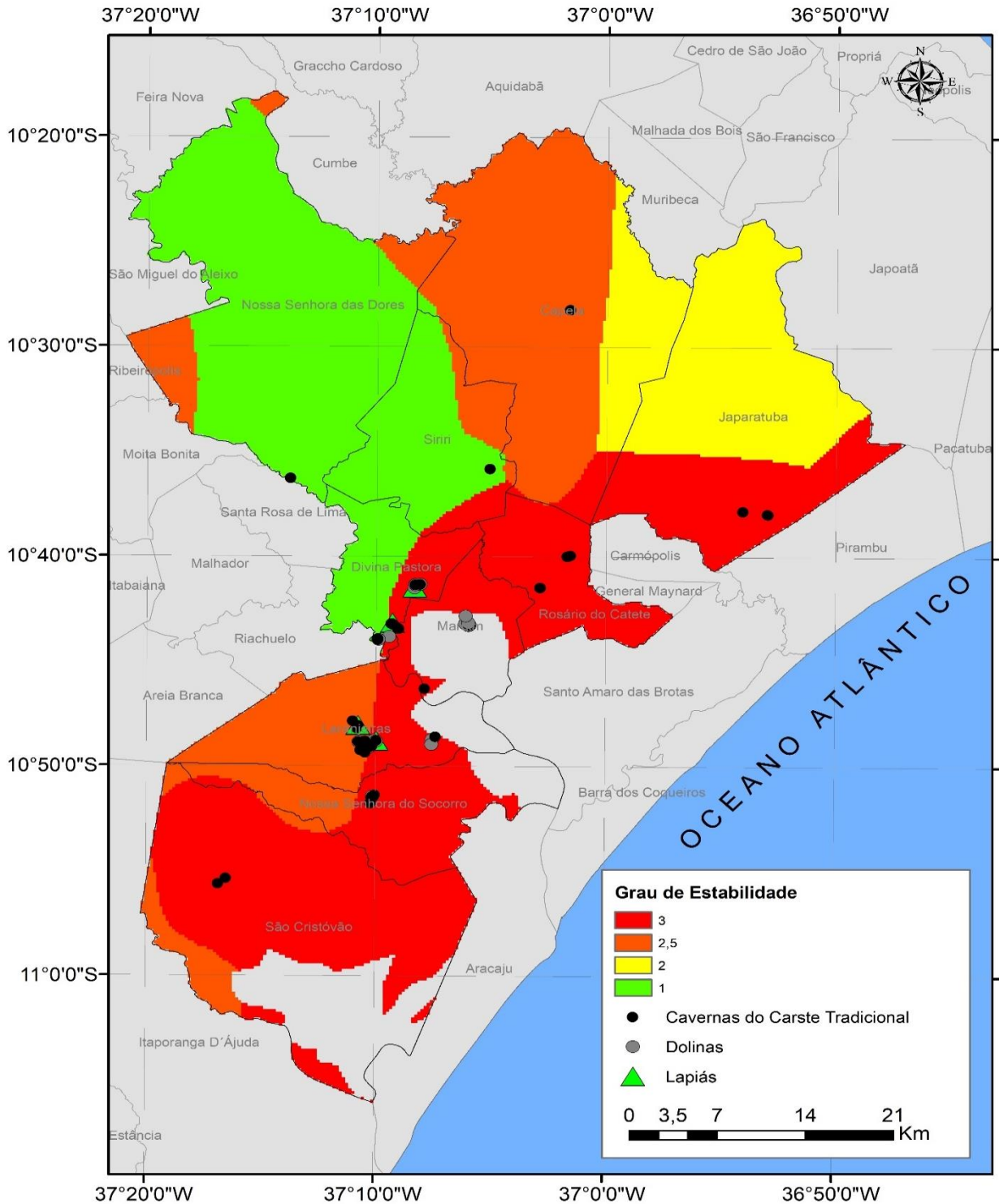
Elaboração: Heleno dos santos Macedo, 2018

As coberturas das áreas de formações pioneiras e tensão ecológica são as que ocupam a maior parte das áreas dos municípios que possuem paisagens cársticas (60%) enquanto as florestas estacionais semidecíduais e as savanas ocupam a faixa restante (40%).

O grau de estabilidade para área, apresentou um elevado índice (entre 2,5 a 3,0), nos locais que são compostos pelas florestas estacionais e as áreas de formações pioneiras, pois,

nesses locais parte da vegetação foi suprimida, em prol da prática da cana-de-açúcar e da pastagem. Essas faixas são mais susceptíveis aos processos morfogenéticos em comparação com as áreas que possuem as formações de savanas e floretas estacionais (entre 1,0 a 2,0), que em parte das propriedades que desenvolvem atividades de agropecuária, são mantidas como reserva legal no cumprimento do novo código florestal (figura 7.7).

Figura 7.7 – Grau de estabilidade das coberturas vegetais. Área Cárstica Bacia Sergipe.



Organização: Heleno dos Santos Macedo, 2018.

As feições cársticas nesse indicador, ocupam a paisagem em três graus de estabilidade presentes nesse recorte espacial (1,0; 2,5 e 3,0), evidenciando que as mesmas estão vulneráveis em relação a ausência de cobertura vegetal, sendo mais um fator que coloca em risco a manutenção dessas feições ao longo do tempo.

f) Clima

O clima, no caso, a intensidade de precipitação e a distribuição de precipitação durante o ano, é outra variável também considerada pela metodologia. Segundo Crepani *et al.* (1996, p. 13), "as informações climatológicas necessárias à caracterização das unidades de paisagem natural representam o contraponto do papel de defesa da unidade de paisagem desempenhado pela cobertura vegetal".

O clima controla o intemperismo diretamente através da precipitação pluviométrica e da temperatura. A principal causa da denudação é a ação da chuva agindo sobre o solo. Sendo que, o produto final desta interação chuva/solo é uma resultante do poder da chuva em causar erosão e da capacidade do solo em resistir à erosão. Sendo que as principais características físicas das chuvas envolvidas nos processos erosivos são: a quantidade ou pluviosidade total, a intensidade ou intensidade pluviométrica e a distribuição sazonal.

Dentre as três características a mais importante é a intensidade pluviométrica, pois representa uma relação entre as outras duas (quando chove/quando chove), resultando na quantidade de energia potencial disponível para transformar-se em energia cinética. A maior importância da intensidade pluviométrica é facilmente verificada quando se observa que uma elevada pluviosidade anual, mas com distribuição ao longo de todo período, tem um poder erosivo muito menor do que uma precipitação anual mais reduzida que se despeja torrencialmente num determinado período do ano.

A distribuição sazonal das chuvas é de grande importância na determinação das perdas de solo em áreas ocupadas pela agricultura, as quais podem permanecer sem cobertura vegetal durante um período do ano dependendo do tipo de manejo a que estejam submetidas. Através destas informações referentes à pluviosidade anual e à duração do período chuvoso, pode-se fazer uma quantificação empírica do grau de risco a que está submetida uma unidade de paisagem.

O valor da intensidade pluviométrica para uma determinada área pode ser obtido dividindo-se o valor da pluviosidade média anual (em mm) pela duração do período chuvoso (em meses). Logo se pode dizer que quanto maiores os valores da intensidade pluviométrica,

maior é a erosividade da chuva. Desta forma, é possível criar uma escala de erosividade da chuva a qual representa a influência do clima nos processos morfodinâmicos (tabela 7.7).

Tabela 7.7 - Escala de erosividade da chuva

<i>Intensidade Pluviométrica (mm/mês)</i>	<i>Vulnera- bilidade</i>	<i>Intensidade Pluviométrica (mm/mês)</i>	<i>Vulnera- bilidade</i>	<i>Intensidade Pluviométrica (mm/mês)</i>	<i>Vulnera- bilidade</i>
< 50	1,0	200 - 225	1,7	375 - 400	2,4
50 – 75	1,1	225 - 250	1,8	400 - 425	2,5
75 – 100	1,2	250 - 275	1,9	425 - 450	2,6
100 – 125	1,3	275 - 300	2,0	450 - 475	2,7
125 – 150	1,4	300 - 325	2,1	475 - 500	2,8
150 – 175	1,5	325 - 350	2,2	500 - 525	2,9
175 – 200	1,6	350 - 375	2,3	> 525	3,0

Fonte: Crepani *et al.*, 2001.

A partir desse indicador percebe-se que a maior parte da área cárstica Bacia Sergipe está situada em trechos com grau de vulnerabilidades baixo à intermediário (entre 1,0 a 2,0), pois a precipitação mensal na maioria dos municípios que possuem feições cársticas não ultrapassam os 300 mm ao mês. O município de menor precipitação mensal é o município de Nossa Senhora das Dores (75mm/mês) e os índices de maior precipitação mensal está em São Cristóvão (150 mm/mês).

g) Uso do solo

O uso e ocupação do solo é um parâmetro importante por considerar o fator antrópico como atuante no processo de modelação da paisagem, ao alterar a configuração original da paisagem. Através de "manchas" identificadas pelos diferentes tipos de uso, assim como, agricultura mata, pastagem, extrativismo mineral, unidades fabris e áreas com coberturas

vegetais foram estabelecidos graus de vulnerabilidade, baseando-se em critérios propostos (tabela 7.8).

Tabela 7.8 – Valores de estabilidade em relação ao uso e ocupação do solo

USO E COBERTURA DO SOLO	VALORES DE VULNERABILIDADE
Urbano	2,5
Pastagem	2,5
Agricultura	3,0
Matas	1,0
Corpos d'água	2,0
Indústrias	2,0
Extração Mineral	3,0

Elaboração: Heleno dos santos Macedo, 2018

O grau de vulnerabilidade do uso do solo em mais de 83% da área pode ser considerado como elevado (entre 2,5 a 3,0). Isso é em decorrência da falta de planejamento ou propostas eficazes de ordenamento no processo de uso e ocupação ao longo de sucessivas décadas. A maior parte dos solos nessa área cárstica é destinada às práticas de agricultura (temporária e permanente) e milhares de hectares destinados à prática da pastagem extensiva (figura 7.8).

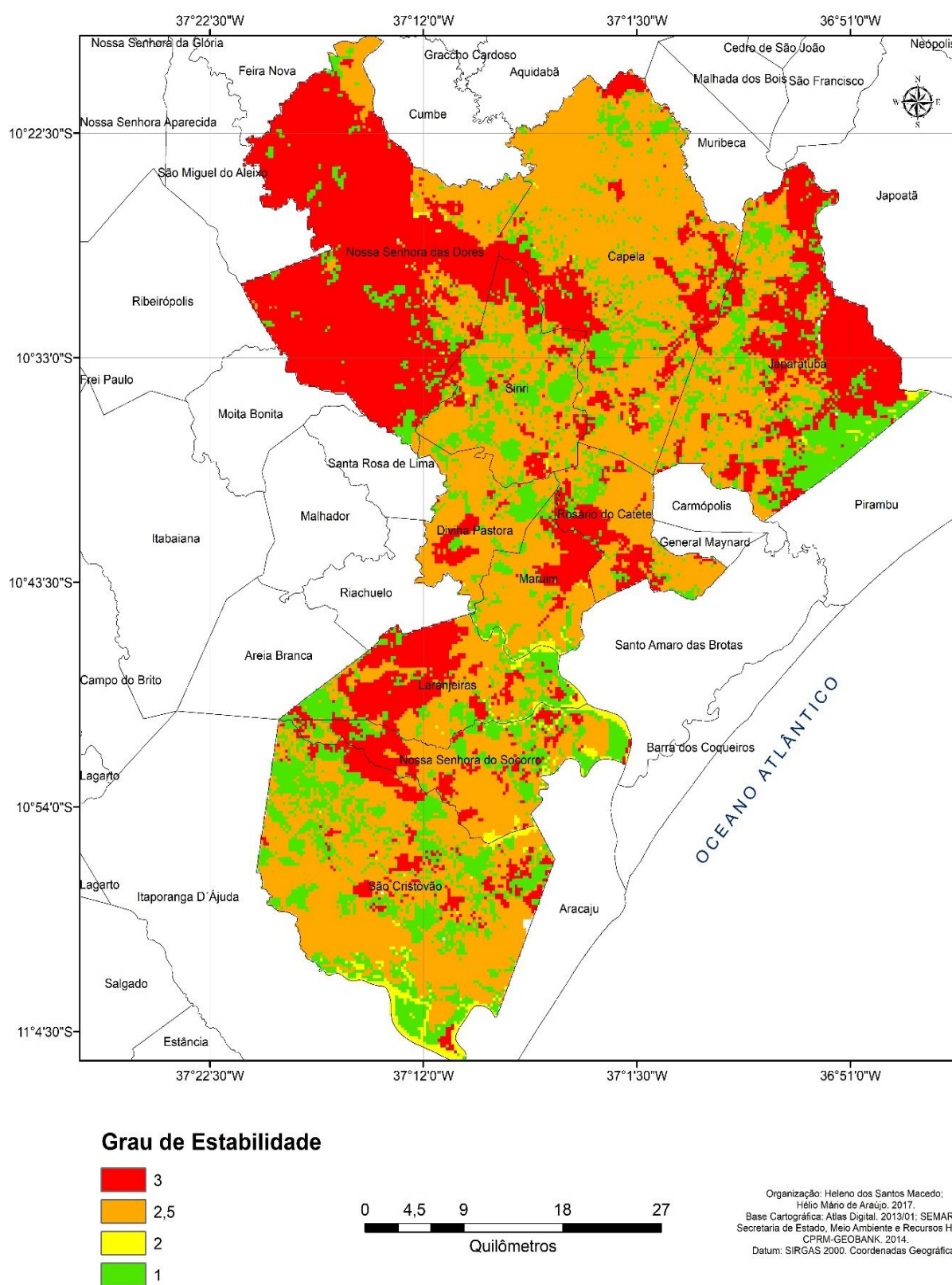
Os municípios que compõem o carste Bacia Sergipe, possui as principais unidades sucroalcooleiras do estado. Proprietários rurais que não têm acesso a crédito, ou mesmo, não possuem mais interesse pelo uso da terra, arrendam suas propriedades aos grandes grupos industriais ligados à produção de açúcar e álcool, como forma de obter um tipo de renda.

A falta de infraestrutura compromete ainda mais a situação desses municípios, pois, além do uso inadequado do solo (sem meios técnicos adequados, ou mesmo, infraestrutura) acabam prejudicando ainda mais os solos, provocando ao longo do tempo sérios problemas de ordem ambiental.

As principais feições cársticas encontram-se no grau de estabilidade intermediários (entre 2,0 a 2,5), o que acaba comprometendo a manutenção desse sistema. O uso inadequado em áreas cársticas, pode levar ao solapamento de dolinas; o rebaixamento do lençol freático através da implementação de poços tubulares, que em sua maioria, operam de forma irregular; o soterramento de cavernas com resíduos sólidos, entre outros problemas.

As áreas que possuem os graus de vulnerabilidade para uso do solo de maior ação da pedogênese são as áreas que mantêm suas coberturas vegetais, desde florestas estacionais, área de mangue e restinga. A cobertura vegetal é um fator que permite a estabilidade dos solos frente aos processos morfogenéticos.

Figura 7.8 – Grau de estabilidade em relação ao uso e ocupação do solo.



Organização: Heleno dos Santos Macedo, 2018

7.1.1.1 Análise da Vulnerabilidade Natural e Ambiental do Carste Bacia Sergipe

A partir da integração dos indicadores do quadro físico do carste Bacia Sergipe, foi construída a carta síntese apresentado a vulnerabilidade natural dessa paisagem (figura 7.9). A maior parcela dessa área encontra-se em situação de alta vulnerabilidade natural, com 52,3% ou 130.206, 603 ha (cento e trinta mil, duzentos e seis e seiscentos e três hectares) e muito alta vulnerabilidade, com 18,2 % ou 45.310,902 ha (quarenta e cinco mil, trezentos e dez e novecentos e dois hectares) – tabela 7.9. A maior parte das feições cársticas encontram-se sobre essas duas classes de vulnerabilidade natural.

Tabela 7.9 – Vulnerabilidade Natural do Carste Bacia Sergipe.

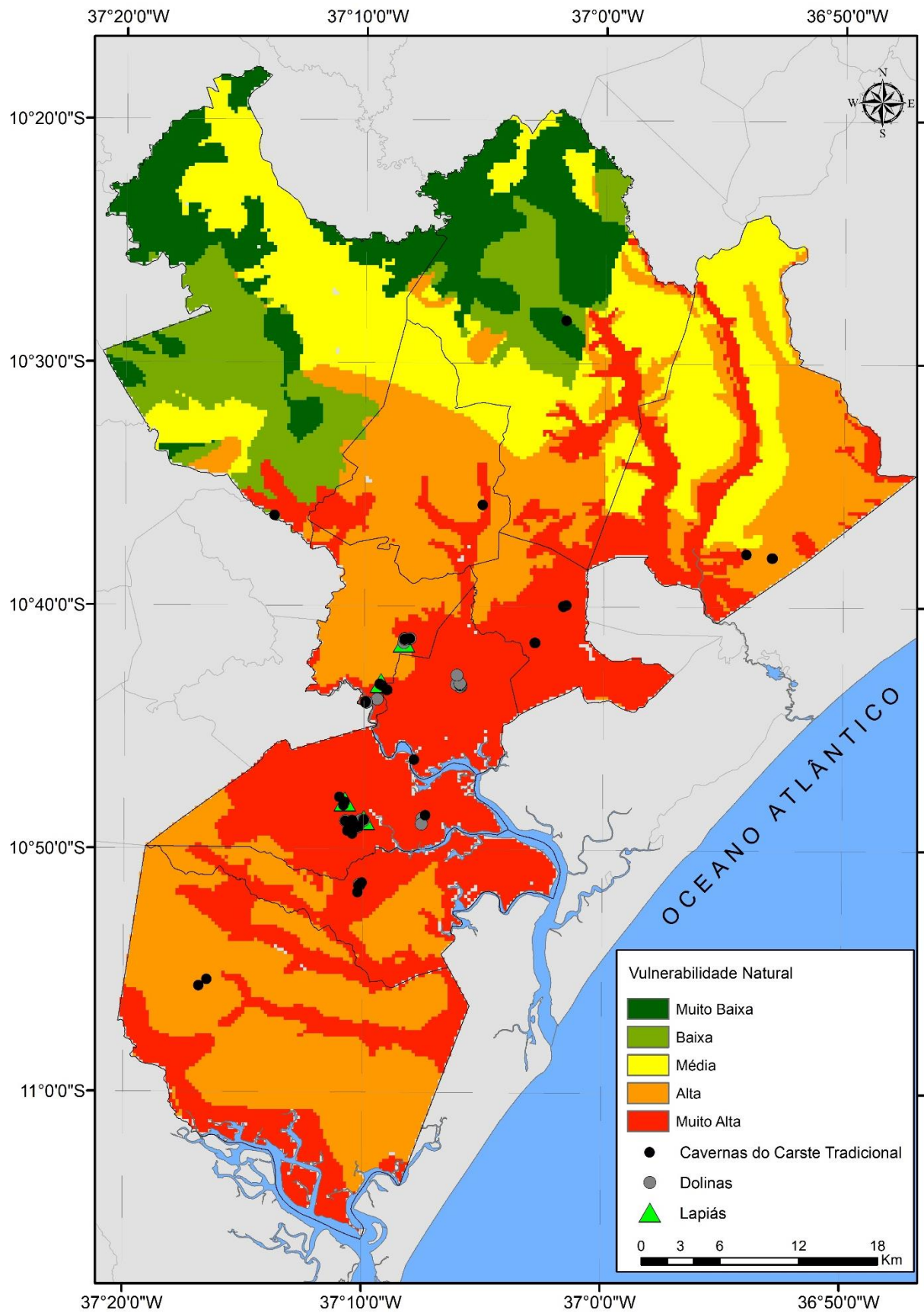
CLASSES	VULNERABILIDADE NATURAL	
	%	Hectares
Muito Baixa	6,2	15.435,582
Baixa	9,7	24.149,217
Média	13,6	33.858,696
Alta	52,3	130.206,603
Muito Alta	18,2	45.310,902

Organização: Heleno dos Santos Macedo, 2018.

Essas classes (alta e muito alta) predominam nessa área cárstica devido aos componentes abióticos (litologia, relevo, clima/precipitação, água subterrânea e cobertura vegetal) apresentarem individualmente o menor grau de instabilidade frente aos processos morfogenéticos. O predomínio das rochas carbonáticas e detríticas; dos aquíferos cársticos e granular; classes do relevo como Planície Costeira, Superfícies de rios e Tabuleiros Costeiros; ausência de cobertura vegetal e precipitações entre 150 a 300 mm, colocam todos municípios nessa situação de vulnerabilidade natural.

Essa alta e muito alta vulnerabilidade natural ameaça a morfogênese, morfoescultura e a morfodinâmica das feições cársticas superficiais, bem como afeta os processos de espeleogênese nas cavidades naturais. As paisagens cársticas apresentam desde sua origem um elevado grau de vulnerabilidade, porém, ao integrar-se com outros componentes do seu sistema, essa vulnerabilidade pode ser acentuada, como é o caso do carste Bacia Sergipe, onde a ausência de cobertura vegetal, finas camadas de solo, áreas adjacentes a Planície Costeira e superfície de rios, tornam a vulnerabilidade natural desse ambiente ainda maior.

Figura 7.9 – Carta de Vulnerabilidade Natural. Carste Bacia Sergipe.



Organização: Heleno dos Santos Macedo, 2018

As áreas localizadas próximos dos Domínios Vaza-Barris e Macururé, possuem os menores índices de vulnerabilidade natural (Muito baixa e baixa). Na classe baixa, temos 9,7%, ou seja, 24.149,217 ha (vinte e quatro mil, cento e quarenta e nove e duzentos e dezessete hectares). Na classe muito baixa apenas 6,2% da área ou 15.435,582 ha (quinze mil, quatrocentos e trinta cinco mil e quinhentos e oitenta e dois hectares).

A presença dessas classes nessa área é em decorrência das variáveis dos componentes físicos serem menos susceptíveis aos processo morfogenéticos, tais como a presença de rochas ígneas, metamórficas e metassedimentares, o predomínio dos Argissolos e Latossolos, a presença de aquíferos fissural, fissural fraturado e cárstico/fissural, cobertura vegetal mais densa, principalmente, nas áreas de reserva legal ou áreas de APP como por exemplo em Capela do Refúgio da vida Silvestre Mata do Junco, que conta com remanescentes de mata atlântica.

As áreas de média vulnerabilidade natural ocupam no espaço do carste Bacia Sergipe 13,6% ou trinta e três mil, oitocentos cinquenta oito e seiscentos e noventa e seis hectares. Essa classe encontra-se nos municípios de Nossa Senhor das Dores, Siriri, Capela e Japaratuba. São áreas que vão possuir variáveis de maior grau de estabilidade, como por exemplo, a presença de Latossolos e Argissolos, rochas metassedimentares, baixa declividade e valores de precipitação que oscila entre 75 a 150 mm ao mês, dificultando os processos morfogenéticos.

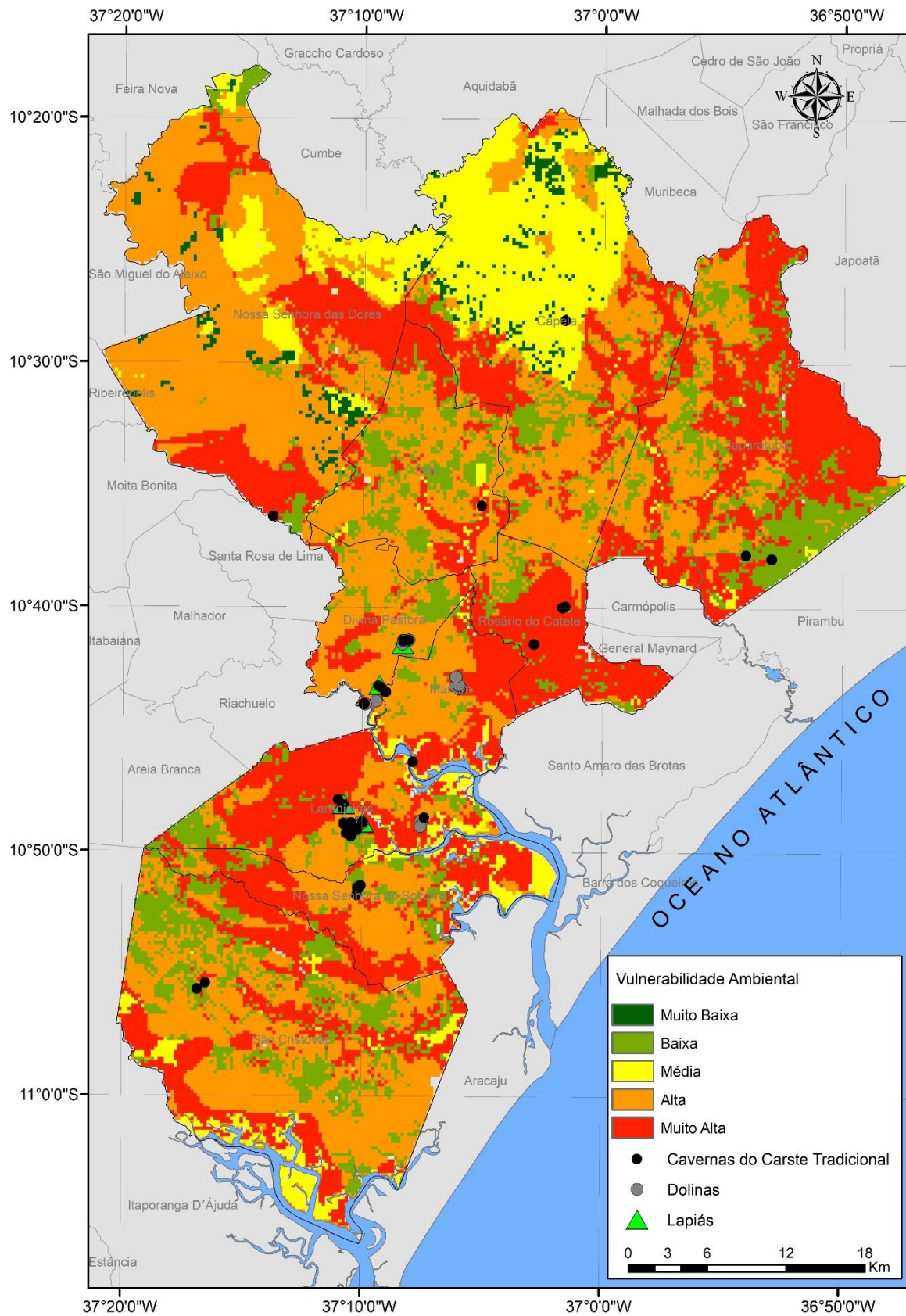
Ao integrar a carta de vulnerabilidade natural com a carta de uso e ocupação do solo obtemos a vulnerabilidade ambiental da área. A vulnerabilidade ambiental do carste Bacia Sergipe pode ser considerado como alta (figura 7.10). Com 153.857,818 ha (cento e cinquenta e três mil, oitocentos e cinquenta sete e oitocentos e dezoito hectares) o equivalente a 61,8% da área, possui elevados índices de morfogênese, comprometendo assim, o seu funcionamento (tabela 7.10).

Tabela 7.10 – Vulnerabilidade Ambiental do Carste Bacia Sergipe.

CLASSES	VULNERABILIDADE AMBIENTAL	
	%	Hectares
Muito Baixa	0,6	1.493,766
Baixa	7,3	18.174,153
Média	9,7	24.149,217
Alta	61,8	153.857,818
Muito Alta	20,6%	51.285,966

Organização: Heleno dos Santos Macedo, 2018.

Figura 7.10 – Carta de Vulnerabilidade Ambiental. Carste Bacia Sergipe.



Organização: Heleno dos Santos Macedo, 2018

A maior parte das feições cársticas estão situadas nessa classe. Essa classe predomina em relação as outras devido a dois momentos distintos. O primeiro ocorrido nas décadas de 1970, 1980 e 1990, onde o processo de expansão/antropização foi acelerado com a implementação de infraestrutura, conjuntos habitacionais, distritos industriais, entre outros. O segundo período é de estagnação (ocorrido nos primeiros anos do século XXI) de alguns processos de antropização, como implementação de novas unidades fabris para exploração de recursos minerais e cana-de-açúcar; a redução da expansão urbana e do crescimento vegetativo.

Porém, os municípios de Nossa Senhora do Socorro e São Cristóvão, não seguiram essas tendências nesses últimos anos. Ocorreu nesses municípios o crescimento no número de habitações, aumento do comércio e fornecimento de serviços nos principais bairros e conjuntos habitacionais como é o caso do Bairro Rosa Elza e do conjunto Eduardo Gomes em São Cristóvão e dos conjuntos Marcos Freire, Fernando Color, Albano Fraco, Piabeta, Conjunto Jardim em Nossa Senhora do Socorro. Além disso, novos distritos industriais foram inaugurados, contribuindo, também para o crescimento populacional, formada por profissionais que atuam nessas indústrias.

Nas classes Muito Alta, temos do total do carste Bacia Sergipe 20,6% ou 51.285,966 ha (cinquenta e um mil, duzentos e oitenta e cinco e novecentos e sessenta e seis). Essa classe situa-se em áreas onde ocorre o maior número de atividades de mineração. Esta associada aos tipos de litologia (detritos, rochas carbonáticas e arenitos), relevo constituído de superfície de rios e planície costeira; solos do tipo Neossolos, Gleissolos e Espodossolos; aquíferos mais vulneráveis (granular e cárstico) interferem diretamente no índice, levando essa área a ser definida como muito alta a vulnerabilidade ambiental.

As classes Muito Baixa e Baixa ocupam 0,6 % ou 1.493,766 (hum mil, quatrocentos e noventa e três e setecentos e sessenta e seis hectares) e 7,3%, ou 18.174, 153 ha (dezoito mil, cento e setenta e quatro e cento e cinquenta e três hectares) das áreas cársticas. São áreas onde não ocorreu a implementação de indústrias, extração mineral e nem o avanço dos processos de urbanização. São áreas que mantém parte da sua cobertura vegetal, além de outras características do meio físico, como litologia, clima/precipitação, solos e as formas de relevo não favoreçam a morfogênese.

A classe caracterizada como vulnerabilidade ambiental média encontra-se nas bordas do Domínio Macururé. Essa área possui características abióticas que favorecem a pedogênese como a presença de rochas ígneas e metamórficas; aquífero do tipo fissural; o predomínio do Argissolos e Latossolos; precipitação média entorno de 75 a 100 mm/mês, entre outras. Essa classe ocupa 24.149,217 ha (vinte quatro mil, cento quarenta e nove e duzentos e dezessete

hectares), o equivalente a 9,7% da área. O uso do solo é destinado principalmente a pecuária extensiva e o cultivo de cana-de-açúcar para anteder a indústria sucroalcooleira de Sergipe e Alagoas. Também é possível identificar essa classe nas bordas das áreas próximas aos rios Sergipe e Vaza-Barris, onde a prática piscicultura é realizada comumente.

7.1.2 Vulnerabilidade Natural e Ambiental do Carste tradicional Olhos d'Água/Frei Paulo

a) Geologia

Como visto anteriormente o grau de dissolução da rocha é fator preponderante para a formação de paisagens cársticas, bem como, as rochas encaixantes, pois se tornam um fator que corrobora para que esse processo possa ser acelerado ou não.

Diante desse contexto, valores para avaliação da vulnerabilidade a partir do tipo de rocha, levam em consideração as características de permeabilidade e porosidade de cada litologia e o seu respectivo grau de susceptibilidade para dissolução, sendo que próximo de 1,0 é considerada menos permeável e 3,0 denominada de porosa, ou seja, uma rocha mais susceptível a morfogênese (tabela 7.11).

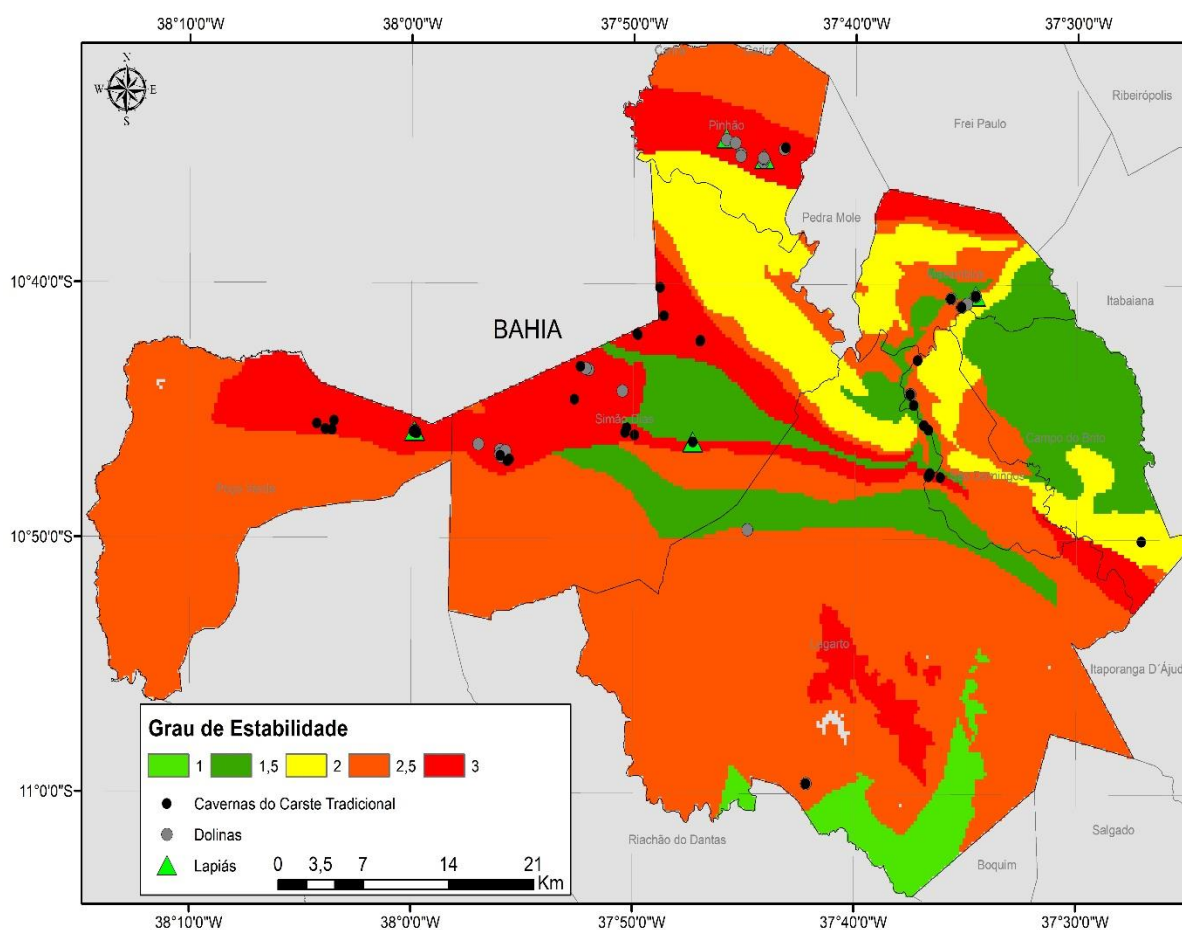
Tabela 7.11 – Valores de estabilidade para litologia

LITOLOGIA	VALOR
Anfibolito, Gabro, Metagranito, Metagranodiorito, Milonito	1,5
Arenito Lítico, Conglomerado, Grauvaca, Grauvaca Lítica	2,5
Arenito, Arenito Conglomerático, Argilito Arenoso	2,5
Arenito, Argilito, Siltito	2,5
Arenito, Folhelho, Siltito	2,5
Calcário, Dolomito, Filito, Metachert	3,0
Filito, Folhelho, Metacalcário, Metarenito, Metarritmito	2,5
Filito, Granito, Metaconglomerado, Quartzito, Rocha Metavulcânica	2,0
Filito, Metaconglomerado, Metarenito	2,0
Filito, MetaGrauvaca, Rocha Metavulcânica Intermediária	2,0
MetaCalcário, MetaCalcário Dolomítico, Metachert, Metapelito	2,0
MetaGrauvaca, Metarenito, Metarritmito, Rocha Metavulcânica	1,5
Metarenito, Metassiltito	1,5
Micaxisto, Mármore, Quartzito	1,5
Migmatito, Ortognaisse	1,0
Ortogramulito	1,0
Sedimento Detrito-Laterítico	3,0

Elaboração: Heleno dos Santos Macedo, 2018

O carste Olhos d'Água/Frei Paulo está situado de forma preponderante em rochas do tipo metassedimentar totalmente inserido no Domínio Vaza-Barris. Diante desse contexto essa área cárstica possui um grau de estabilidade do material rochoso baixo (2,5 – 3,0), pois a maior parte do material constituinte dessas estruturas favorece a infiltração da água, o que contribui para a aceleração dos processos morfogenéticos. A maior parcela das feições cársticas (cavernas, dolinas, lapiás) estão localizadas nas áreas consideradas de menor instabilidade (3,0) – figura 7.11.

Figura 7.11 – Grau de Estabilidade da litologia. Área Cárstica Olhos D'Água/Frei Paulo.



Organização: Heleno dos Santos Macedo, 2018.

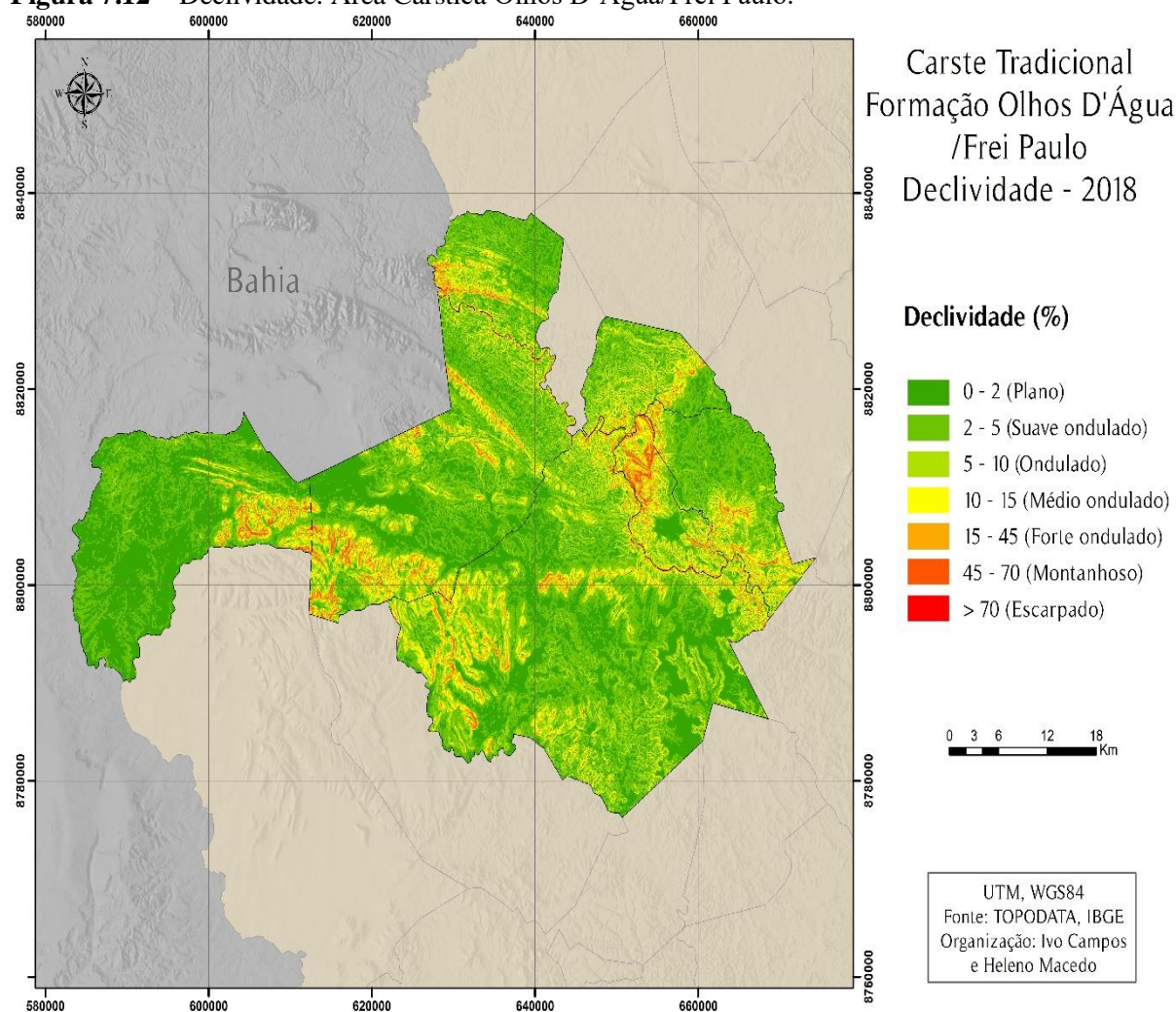
Nas faixas onde encontramos rochas encaixantes com graus mais acentuados de metamorfismo o grau de estabilidade é maior, entre 1,0 a 1,5 e na faixa de metassedimentos não carbonáticos serão intermediários o grau de estabilidade (2,0). Essas áreas encontram-se próximas do contato com o Domínio Macururé.

b) Geomorfologia

Nos aspectos geomorfológicos foram utilizadas as variáveis subclasses do relevo e declividade. A declividade está diretamente relacionada com o grau de estabilidade do relevo. Quanto maior a declividade o grau de estabilidade será menor. Porém, a depender do material constituinte, declividades acentuadas podem ser mais estáveis que os terrenos de menor declividade. Por isso, há necessidade de relacionar a subclasse do relevo com o material constituinte para poder mensurar o quanto a declividade pode atuar nos processos pedogenéticos ou morfogenéticos.

A declividade na área vai apresentar características de suave ondulado, ondulado e médio ondulado, com declividades variando entre 2 a 15% (tabela 7.12). Em alguns trechos existem feições que vão apresentar uma declividade entre 45 a 70%, mas preponderantes em comparação ao carste Bacia Sergipe (figura 7.12).

Figura 7.12 – Declividade. Área Cárstica Olhos D'Água/Frei Paulo.



Organização: Ivo Campos, 2018.

Tabela 7.12 - Valores de estabilidade de acordo com a declividade

RELEVO	%	GRAUS
Plano	0 - 2	0 – 1,15
Suave ondulado	2 – 5	1,15 – 2,86
Ondulado	5 – 10	2,86 – 5,71
Médio ondulado	10 – 15	5,71 – 8,53
Forte ondulado	15 – 45	8,53 – 24,23
Montanhoso	45 – 70	24,23 - 34,99
Escarpado	>70	>34,99

Elaboração: Heleno dos santos Macedo, 2018

A Paisagem em questão possui três subclasses do relevo: Pediplano Sertanejo, Serras Residuais, Superfície de rios e Tabuleiros Costeiros. As unidades Pediplano e Serras residuais são constituídos por rochas metamórficas e metassedimentares de menor porosidade e consequentemente com maior grau de estabilidade.

A unidade Tabuleiro Costeiro é constituída por sedimentos do Grupo Barreiras de origem terció/quaternário, localizada nas bordas do Domínio com a Bacia Sedimentar de Sergipe. Essa subclasse vai possuir um grau de estabilidade menor, pois os materiais constituintes possibilitam uma maior ação da morfogênese (tabela 7.13).

Tabela 7.13 – Valores de estabilidade para as Unidades do Relevo

UNIDADE DO RELEVO	VALOR
Pediplano Sertanejo	1,0
Serras Residuais	2,0
Tabuleiros costeiros	3,0

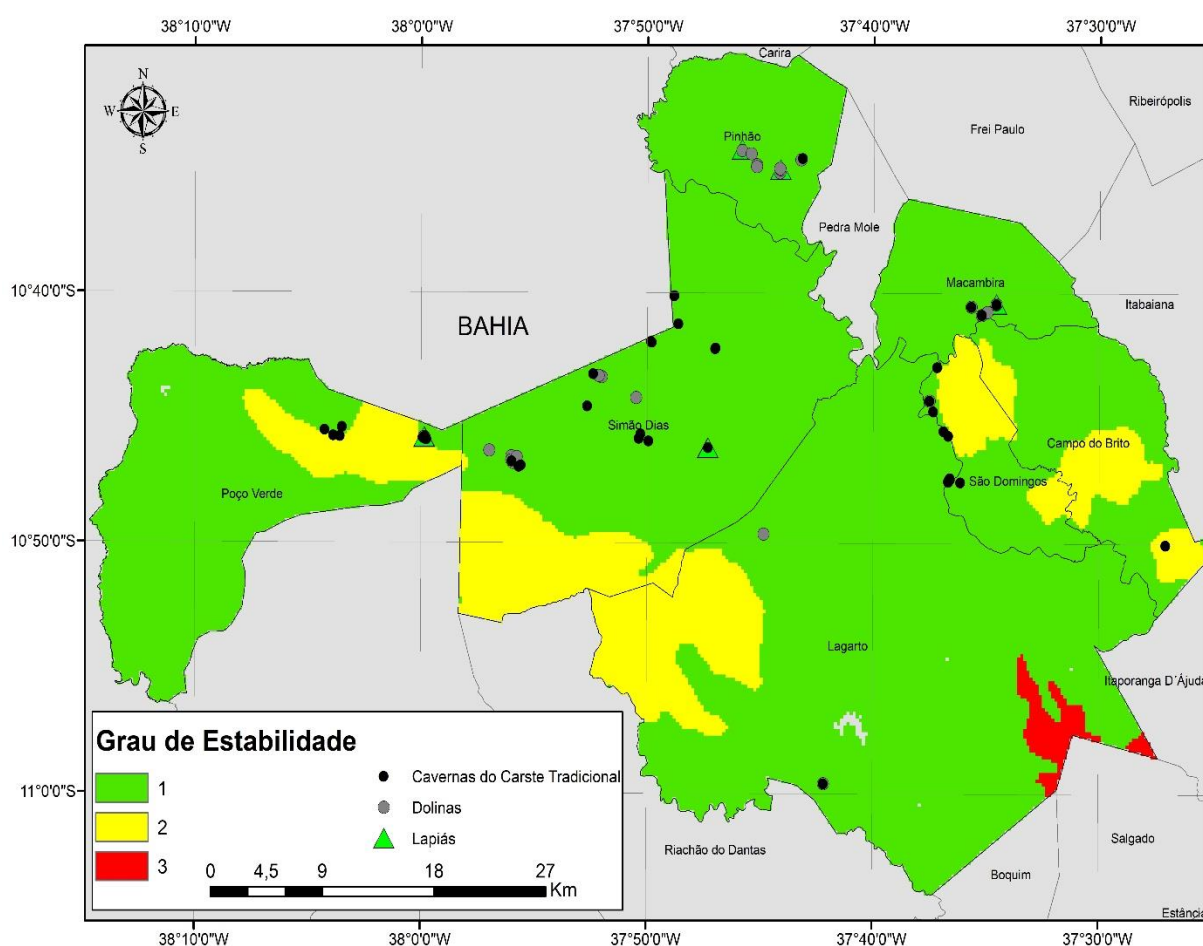
Elaboração: Heleno dos santos Macedo, 2018

A partir da integração de dados referente a declividade e subclasses, foi possível elaborar a carta de estabilidade do relevo do carste Olhos D'Água/Frei Paulo (figura 7.13). Pode-se observar que onde há maior incidência da unidade Pediplano Sertanejo, associados as declividades plano a médio ondulado (0 a 15%) são os que apresentam o maior grau de estabilidade (1,0).

Essa mesma condição de interferência do material de substrato é observada para as unidades do relevo Serras residuais, onde o grau de estabilidade será intermediário (2) e a área

constituída pelos Tabuleiros Costeiros, que será a unidade de maior vulnerabilidade nessa área cárstica. As declividades nessas áreas mesmo sendo categorizadas como forte ondulado a escarpado (15 a 70%) podem interferir para a instabilidade do relevo, pois o material constituinte se caracteriza como metassedimentar. As paisagens cársticas estão em áreas que apresentam a alto grau de estabilidade.

Figura 7.13 – Grau de estabilidade do relevo. Área Cárstica Olhos D’água/Frei Paulo.



Organização: Heleno dos Santos Macedo, 2018.

c) Hidrogeologia

A precariedade de infraestrutura em saneamento básico presentes nos municípios dessas áreas cársticas ocasiona a implementação de sistemas de saneamento *in situ*, como tanques sépticos, filtros biológicos e sumidouros que são, em maior parte, construídos sem obedecer a critérios técnicos de engenharia.

É comum tanques, que deveriam ser estanques, permitindo a percolação do esgoto no solo, contribuindo para a recarga do aquífero. Há ainda situações em que os esgotos são destinados às fossas rudimentares, rede de drenagem, valas ou corpos hídricos.

Para a avaliação do grau de estabilidade do sistema hidrogeológico foi selecionada a variável “tipo do aquífero”, relacionando o reservatório ao tipo de litologia que forma esse reservatório. Para os aquíferos de rochas ígneas e metamórficas, (granito, gnaisses, entre outros) foram atribuídos valores de 1,0 a 1,5. A presença de metassedimentos (metacalcário, quartzito, entre outros) foi pontuada com 2,0 e os aquíferos de rochas sedimentares (calcário, arenito) foram pontuados entre 2,0 a 3,0 (tabela 7.14).

Tabela 7.14 – Valores de estabilidade para Tipos de Aquíferos.

TIPO DO AQUÍFERO	GRAU
Aquiclude	3,0
Cárstico	2,5
Cárstico/Fissural	2,0
Fissural	1,0
Fissural muito fraturado	1,5
Granular	3,0

Elaboração: Heleno dos santos Macedo, 2018

Esse indicador, também, mostrou que o tipo de litologia na qual o reservatório está inserido é fator determinante para mensurar o grau de estabilidade. Os valores de menor estabilidade (2,1 – 3,0) estão nas áreas onde predomina os aquíferos cársticos, granular e as águas de contato denominadas de aquiclude (figura 7.14). As áreas que possuem aquíferos do tipo Fissural, fissural fraturado e cárstico/fissural, são os que apresentam graus maiores de estabilidade (entre 1,0 a 2,0).

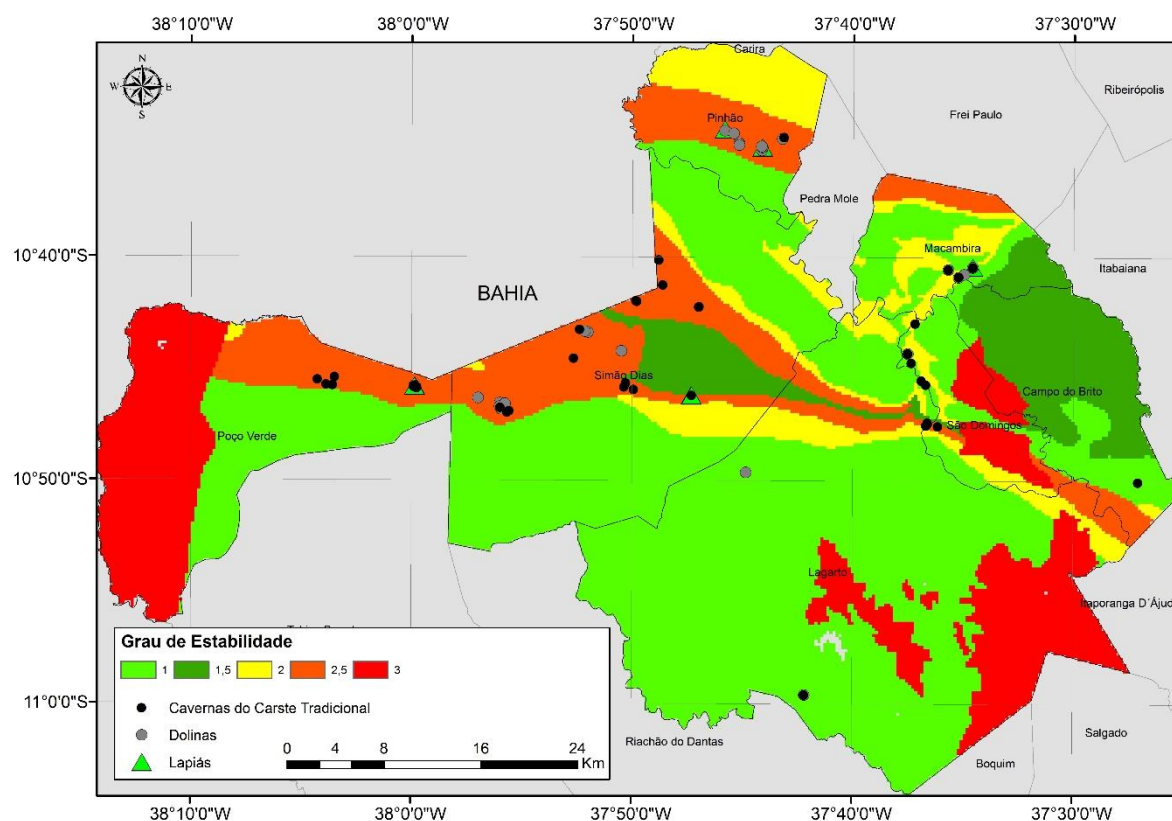
Essas áreas de menor estabilidade compreendem áreas urbanas, com construções irregulares ou que não obedecem a critérios técnicos de engenharia, ou ainda com falhas na manutenção, intensificando os riscos de contaminação dos mananciais subterrâneos.

Como exemplo, tem-se as zonas industriais de processamento do calcário para a fabricação e cimento, que mal instaladas ou operadas, liberam efluentes para os riachos que estão no entorno dessas unidades fabris.

Postos de gasolinas, que não realizarem manutenção em seus tanques submersos constante, acabam contaminando o lençol freático; resíduos sólidos depositados em solo impróprio, cemitérios mal instalados, fossas negras adensadas, canais de drenagem permeáveis que recebem contribuições de esgoto sanitário, redes de esgotamento sanitário com precárias

manutenções e estações de tratamento de esgoto sanitário que permitam a percolação de carga poluidora para o aquífero freático. Maiores devem ser as preocupações em aquíferos não confinados, especialmente nas áreas em que a zona vadosa é pouco espessa.

Figura 7.14 – Grau de estabilidade da Hidrogeologia. Área Cárstica Olhos D’água/Frei Paulo.



Organização: Heleno dos Santos Macedo, 2018

As feições cársticas presentes nessa área se encontram nas áreas intermediárias em relação a estabilidade. Apenas uma das feições está presente em uma unidade de maior estabilidade. A Caverna da Ribeira localizada em Campo do Brito, desenvolve-se sobre um aquífero do tipo cárstico/fissural.

d) Pedologia

O carste Olhos D’água/Frei Paulo caracteriza-se por apresentar seis tipos de solos: Argissolos, Latossolos, Cambissolos, Planossolos, Luvisolos e Neossolos. Os valores de grau de estabilidade para cada tipo, seguiu as orientações de Crepani *et. al.* (2001), levando em consideração a vulnerabilidade que cada solo tem frente aos processos erosivos (tabela 7.15).

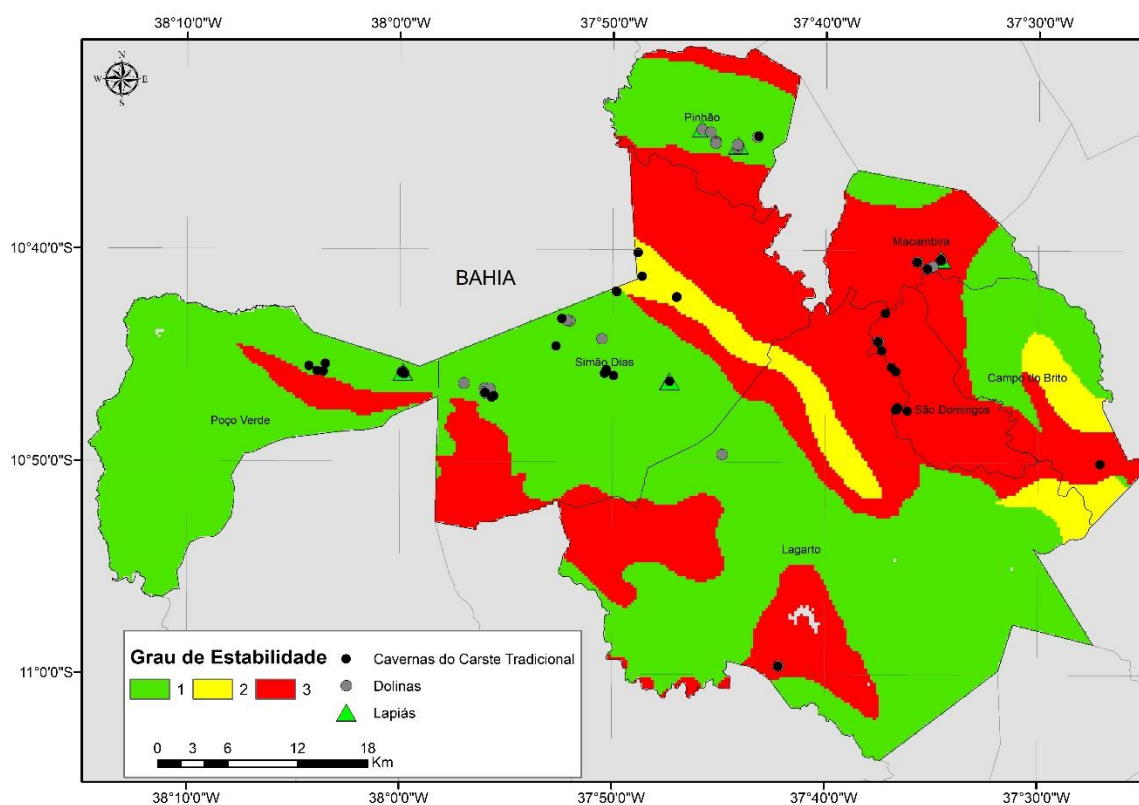
Tabela 7.15 – Valores de estabilidade para tipo de solos.

TIPO DE SOLOS	VALOR
Argissolos	1,0
Latossolos	1,0
Cambissolos	1,0
Luvissolos	2,0
Planossolos	1,0
Neossolos	3,0

Elaboração: Heleno dos santos Macedo, 2018

A partir do cruzamento dos valores para cada tipo de solo, constatou-se que parte significativa dessa área cárstica possui baixo grau de vulnerabilidade em relação ao tipo do solo. O solo predominante na paisagem são os Planossolos, solo que possui maior estabilidade frente aos processos de erosão (CREPANI *et al.*, 2001). A maior parte das feições cársticas encontram-se sobre esse tipo de solo (figura 7.15).

Algumas feições cársticas encontram-se em solos que possuem a condição intermediária de estabilidade, o caso dos Luvissolos, Argissolos, Latossolos e Cambissolos. O solo que apresenta o maior grau de vulnerabilidade nessa área cárstica são os Neossolos, solos que por sua natureza, são categorizados como frágeis, mais susceptíveis aos processos morfogenéticos. Nessa classe também encontramos feições cársticas.

Figura 7.15 – Grau de estabilidade dos solos. Área Cárstica Olhos D'água/Frei Paulo

Organização: Heleno dos Santos Macedo, 2018

e) Cobertura vegetal

A cobertura vegetal representa a defesa da unidade de paisagem contra os efeitos dos processos modificadores das formas de relevo. A ação da cobertura vegetal na proteção da paisagem se dá de várias formas (CREPANI et al., 1996):

- Evita o impacto direto das gotas de chuva contra o terreno que promovem a desagregação das partículas;
- Impede a compactação do solo que diminui a capacidade de absorção de água;
- Aumenta a capacidade de infiltração do solo pela difusão do fluxo de água.

A densidade de cobertura vegetal determina a capacidade de proteção da unidade, ou seja, determina se o valor se aproxima da estabilidade (1,0), se apresenta valores intermediários (ao redor de 2,0), ou se apresenta baixa densidade de cobertura vegetal, sendo então, vulneráveis e apresentando valores próximos a 3,0. Na tabela 7.16, estão descritos os tipos de cobertura vegetal presentes na área e seus respectivos valores atribuídos com relação a sua vulnerabilidade, segundo Crepani et al. (2001).

Tabela 7.16 – Valores de estabilidade para cobertura vegetal

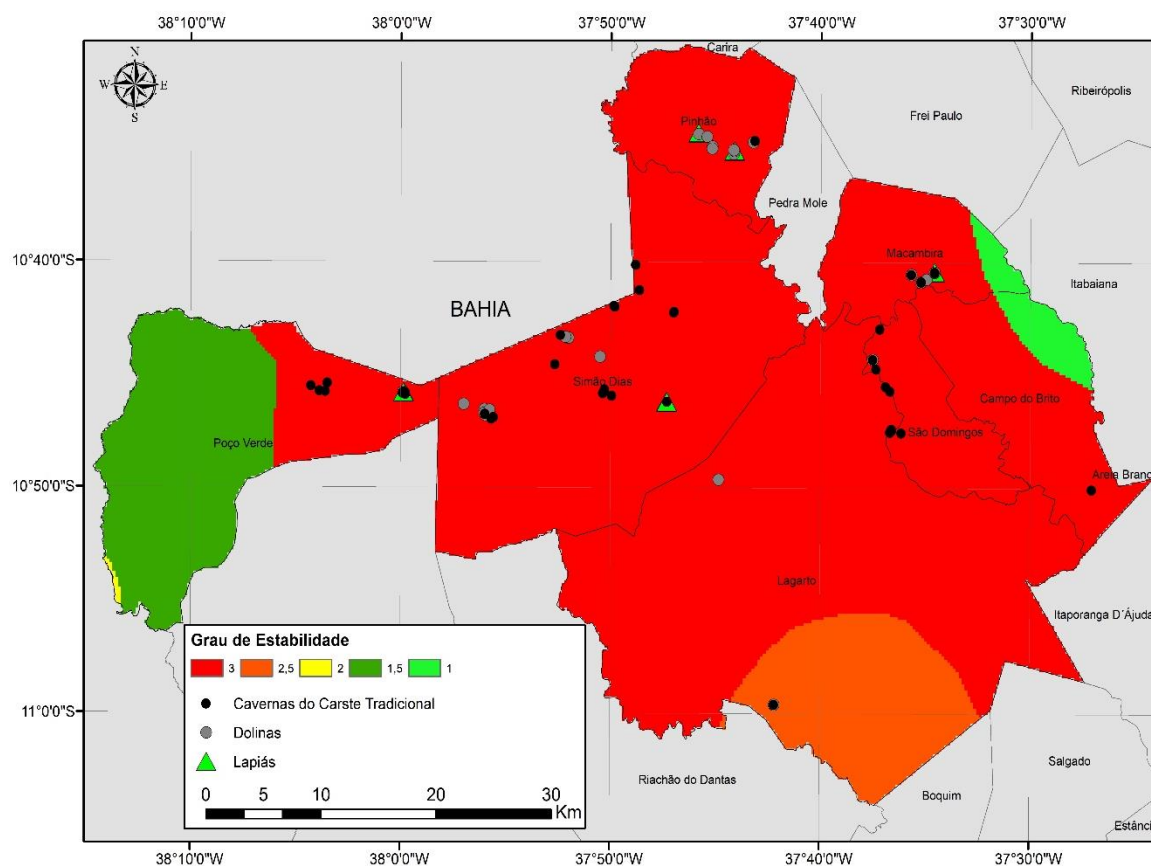
COBERTURA VEGETAL	GRAU
Arbórea Aberta	1,5
Áreas de tensão ecológica	3,0
Estepe – Floresta Estacional	1,0
Savana – Estepe – Floresta Estacional	2,0
Savana – Floresta Estacional	2,0
Vegetação Secundária e atividades Agrícolas	2,5

Elaboração: Heleno dos santos Macedo, 2018

As coberturas das áreas de formações pioneiras e tensão ecológica são as que ocupam a maior parte das áreas dos municípios que possuem paisagens cársticas (60%) enquanto as florestas estacionais semidecíduais e as savanas ocupam a faixa restante (40%).

O grau de estabilidade para área, apresentou um elevado índice (entre 2,5 a 3,0), nos locais que são compostos pelas florestas estacionais e as áreas de formações pioneiras, pois, nesses locais parte da vegetação foi suprimida, em prol da prática da cultura do milho e da pastagem. Essas faixas são mais susceptíveis aos processos morfogenéticos em comparação com as áreas que possuem as formações de savanas e florestas estacionais (entre 1,0 a 2,0), que em parte das propriedades que desenvolvem atividades de agropecuária, são mantidas como reserva legal no cumprimento do novo código florestal (figura 7.16).

Figura 7.16– Grau de estabilidade das coberturas vegetais. Área Cárstica Olhos D'Água/Frei Paulo.



Organização: Heleno dos Santos Macedo, 2018

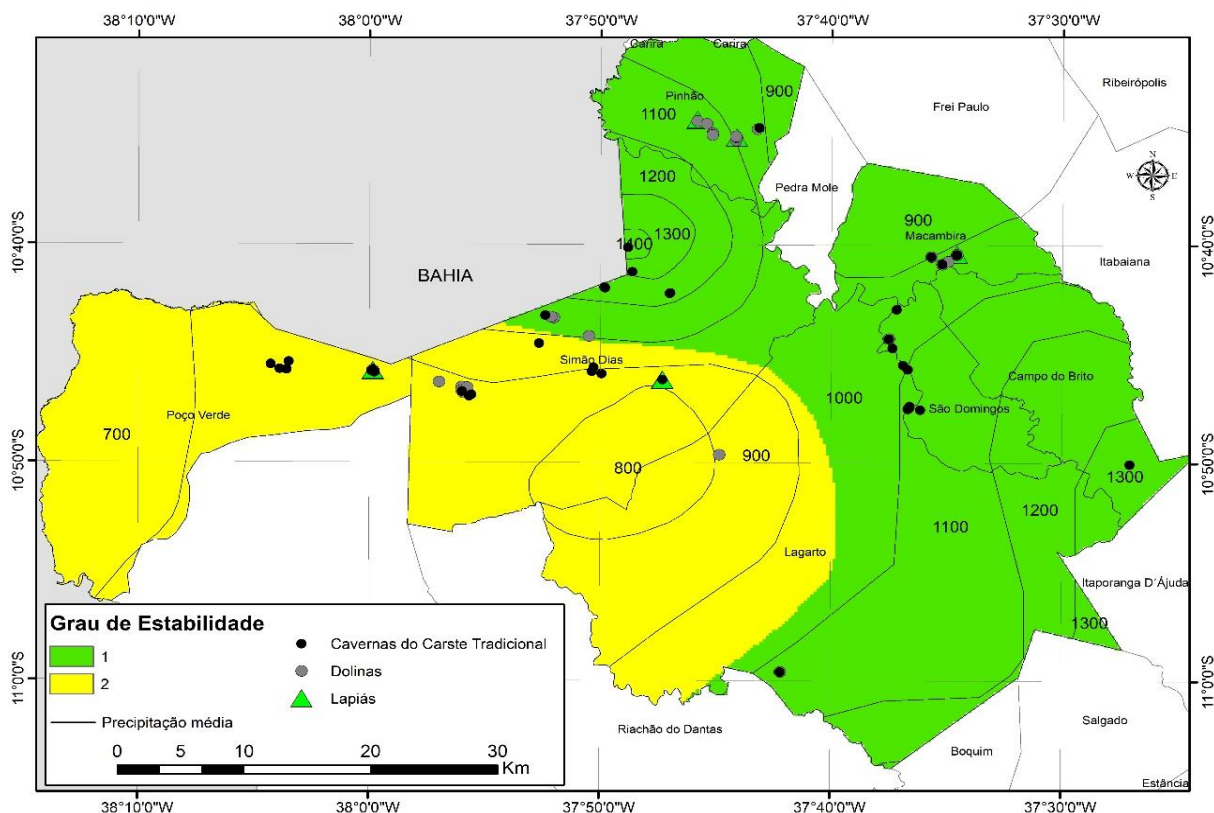
f) Clima e Precipitação

A partir dos indicadores apontados para o carste Bacia Sergipe sobre esse tema, percebe-se que a maior parte da área cárstica está situada em trechos com grau de vulnerabilidades baixo à intermediário (entre 1,0 a 2,0), pois a precipitação mensal na maioria dos municípios que possuem feições cársticas não ultrapassam os 100 mm ao mês. O município de menor precipitação mensal é o município de Poço Verde (58mm/mês) e os índices de maior precipitação mensal estão nos municípios de Campo do Brito, Lagarto e Simão Dias (150 mm/mês) – figura 7.17.

Os municípios mais próximos da área do domo de Itabaiana (Campo do Brito, São Domingos) e domo de Simão Dias (Simão Dias e Pinhão) vão possuir grau de estabilidade 01, com precipitações médias entre 108 mm a 75 mm por ano. A maior parte das feições cársticas estão localizadas nesse grau de estabilidade, podendo então afirmar que a condição da

precipitação não é um fator decisivo para o aumento da vulnerabilidade natural dessas morfologias.

Figura 7.17 – Grau de estabilidade da condição do Clima/Precipitação. Área Cárstica Olhos D'Água/Frei Paulo



Organização: Heleno dos Santos Macedo, 2018

g) Uso do solo

O uso e ocupação do solo é um parâmetro importante por considerar o fator antrópico como atuante no processo de modelação da paisagem, ao alterar a configuração original da paisagem. Através de "manchas" identificadas pelos diferentes tipos de uso, assim como, agricultura mata, pastagem, extrativismo mineral, unidades fabris e áreas com coberturas vegetais foram estabelecidos graus de vulnerabilidade, baseando-se em critérios propostos (tabela 7.17).

Tabela 7.17 – Valores de estabilidade em relação ao uso e ocupação do solo

USO E COBERTURA DO SOLO	VALORES DE VULNERABILIDADE
Urbano	2,5
Pastagem	2,5
Agricultura	3,0
Matas	1,0
Corpos d'água	2,0
Indústrias	2,5

Elaboração: Heleno dos santos Macedo, 2018.

O grau de vulnerabilidade do uso do solo em mais de 83% da área pode ser considerado como elevado (entre 2,5 a 3,0). Isso é em decorrência da falta de planejamento ou propostas eficazes de ordenamento no processo de uso e ocupação ao longo de sucessivas décadas. A maior parte dos solos nessa área cárstica é destinada às práticas de agricultura (temporária e permanente) e milhares de hectares destinados à prática da pastagem extensiva (figura 7.18).

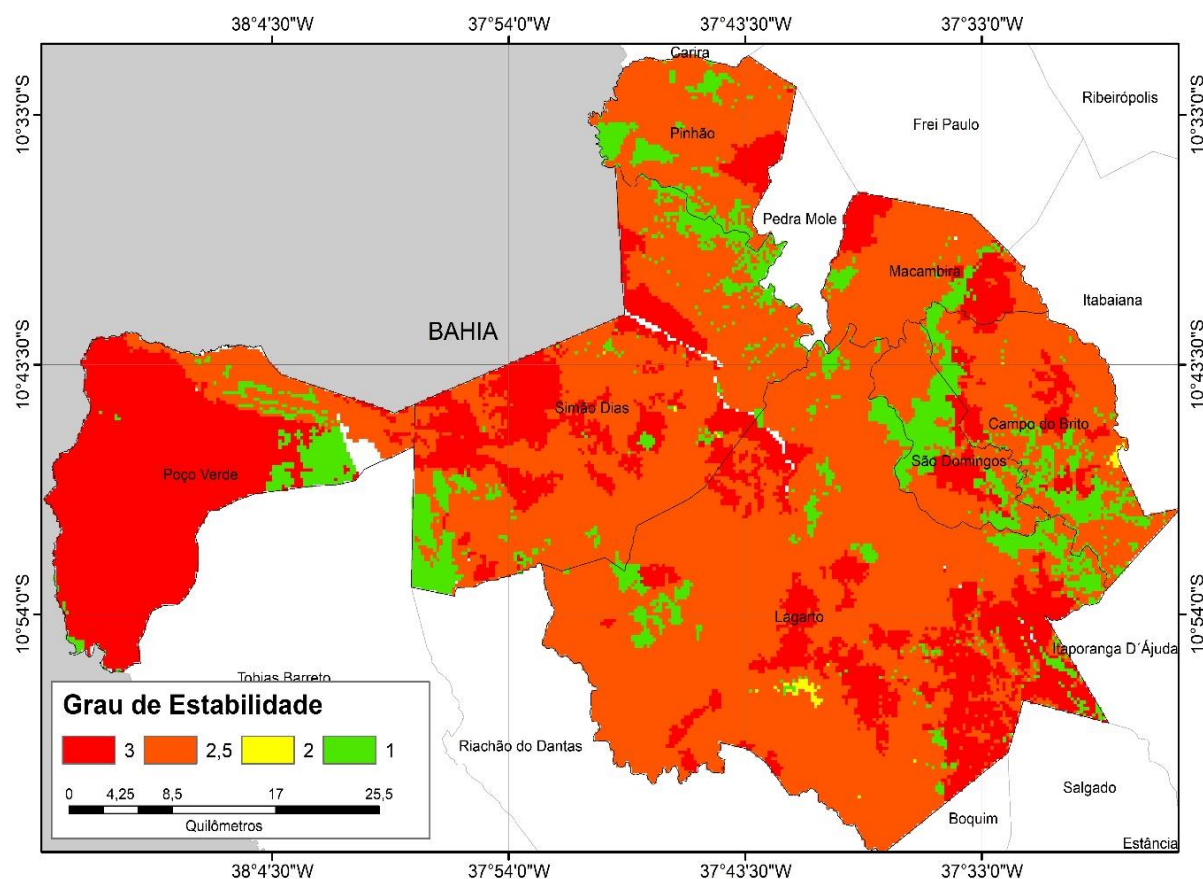
Os municípios que compõem o carste Olhos D'Água/Frei Paulo, possui as principais áreas de cultivo de grãos do estado, destaque para o cultivo do milho e do feijão. Além disso, parte do solo é destinado à criação bovina para fim do fornecimento de leite para todo o estado.

A falta de infraestrutura compromete ainda mais a situação desses municípios, pois, além do uso inadequado do solo (sem meios técnicos adequados, ou mesmo, infraestrutura) acabam prejudicando ainda mais os solos, provocando ao longo do tempo sérios problemas de ordem ambiental.

As principais feições cársticas encontram-se no grau de estabilidade intermediários (entre 2,0 a 2,5), o que acaba comprometendo a manutenção desse sistema. O uso inadequado em áreas cársticas, pode levar ao solapamento de dolinas; o rebaixamento do lençol freático através da implementação de poços tubulares, que em sua maioria, operam de forma irregular; o soterramento de cavernas com resíduos sólidos, entre outros problemas.

As áreas que possuem os graus de vulnerabilidade para uso do solo de maior ação da pedogênese são as áreas que mantêm suas coberturas vegetais, desde florestas estacionais, área de mangue e restinga. A cobertura vegetal é um fator que permite a estabilidade dos solos frente aos processos morfogenéticos.

Figura 7.18 – Grau de estabilidade em relação ao uso e ocupação do solo. Área Cárstica Olhos D'Água/Frei Paulo.



Organização: Heleno dos Santos Macedo, 2018

7.1.2.1 Análise da Vulnerabilidade Natural e Ambiental do Carste Olhos d'Água/Frei Paulo

A partir da integração dos indicadores do quadro físico do carste Olhos D'Água/Frei Paulo, foi construída a carta síntese apresentado a vulnerabilidade natural dessa paisagem (figura 7.19). A maior parcela dessa área encontra-se em situação de muito alta vulnerabilidade natural, com 39,7% ou 101.522,825 ha (cento e um mil, quinhentos e vinte e dois e oitocentos e vinte e cinco hectares) e alta vulnerabilidade, com 28,5 % ou 72.881,625 ha (setenta e dois mil, oitocentos e oitenta e um e seiscentos e vinte e cinco hectares) – tabela 7.18. A maior parte das feições cársticas encontram-se sobre essas duas classes de vulnerabilidade natural.

Tabela 7.18 – Vulnerabilidade Natural do Carste Olhos D’Água/Frei Paulo.

CLASSES	VULNERABILIDADE NATURAL	
	%	Hectares
Muito Baixa	4,5%	11.507,625
Baixa	9,4%	24.038,15
Média	17,9%	45.774,775
Alta	28,5%	72.881,625
Muito Alta	39,7%	101.522,825

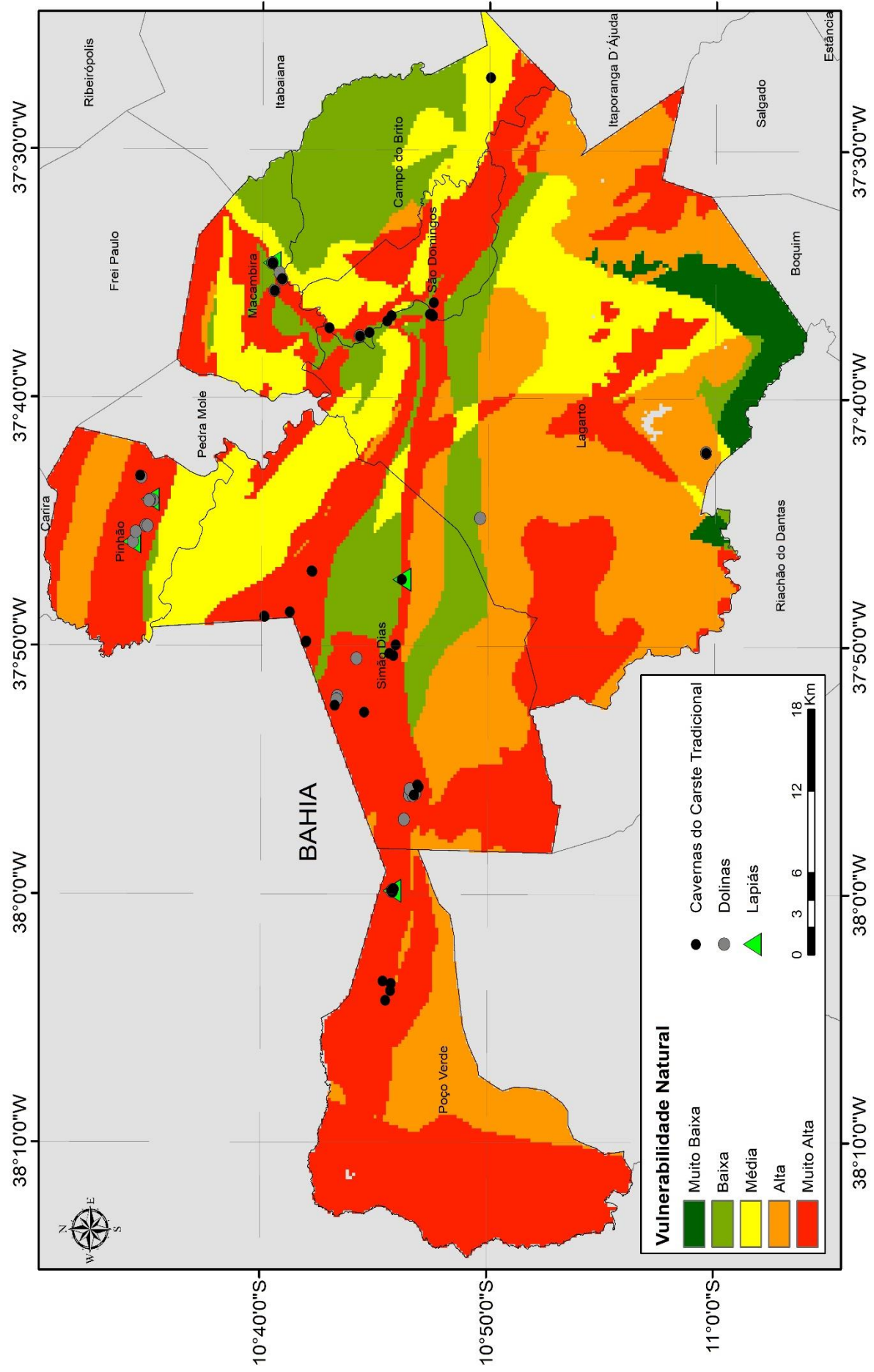
Organização: Heleno dos Santos Macedo, 2018

Essas classes (alta e muito alta) predominam nessa área cárstica devido aos componentes abióticos (litologia, relevo, clima/precipitação, água subterrânea e cobertura vegetal) apresentarem individualmente o menor grau de instabilidade frente aos processos morfogenéticos. O predomínio das rochas carbonáticas e metassedimentares; dos aquíferos cársticos, fissural e granular; classes do relevo como Pediplano sertanejo e Serras Residuais; ausência de cobertura vegetal e precipitações entre 108 a 58 mm, colocam todos municípios nessa situação de vulnerabilidade natural.

Essa alta e muito alta vulnerabilidade natural ameaça a morfogênese, morfoescultura e a morfodinâmica das feições cársticas superficiais, assim como, afeta os processos de espeleogênese nas cavidades naturais. As paisagens cársticas, ao integrar-se com outros componentes do seu sistema, pode ter sua vulnerabilidade natural acentuada, como é o caso do carste Olhos D’Água/Frei Paulo, onde a ausência de cobertura vegetal, finas camadas de solo, declividades acentuadas, tornam a vulnerabilidade natural desse ambiente ainda maior.

As áreas localizadas próximas dos domos de Itabaiana e Simão Dias, possuem os menores índices de vulnerabilidade natural (Muito baixa e baixa). Na classe baixa, temos 9,4%, ou seja, 24.038,15 ha (vinte e quatro mil, trinta e oito e quinze hectares). Na classe muito baixa apenas 4,5% da área ou 11.507,625 ha (onze mil, quinhentos e sete e seiscentos e vinte e cinco hectares).

Figura 7.19 – Carta de Vulnerabilidade Natural. Carste Olhos D’Água/Frei Paulo.



A presença dessas classes nessa área é em decorrência das variáveis dos componentes físicos serem menos susceptíveis aos processos morfogenéticos, tais como a presença de rochas ígneas, metamórficas e metassedimentares, o predomínio dos Argissolos e Latossolos, a presença de aquíferos fissural, fissural fraturado e cárstico/fissural, cobertura vegetal mais densa, principalmente, nas áreas de reserva legal.

As áreas de média vulnerabilidade natural ocupam no espaço do carste Olhos D'Água/Frei Paulo 17,9% ou 45.774,775 ha (quarenta e cinco mil, setecentos e setenta e quatro e setecentos e setenta e cinco hectares). Apenas o município de Poço Verde não possui área nesse índice de vulnerabilidade natural. São áreas que possuem variáveis de maior grau de estabilidade, como por exemplo, a presença de Latossolos e Argissolos, rochas metassedimentares, baixa declividade e valores de precipitação que oscila entre 75 a 150 mm ao mês, dificultando os processos morfogenéticos.

Ao integrar a carta de vulnerabilidade natural com a carta de uso e ocupação do solo obtemos a vulnerabilidade ambiental da área. A vulnerabilidade ambiental do carste Olhos D'Água/Frei Paulo é considerado muito alta (figura 7.20). Com 109.194,575 ha (cento e nove mil, cento e noventa e quatro e quinhentos e setenta e cinco hectares) o equivalente a 42,7% da área, possui elevados índices de morfogênese, comprometendo assim, o seu funcionamento (tabela 7.19).

Tabela 7.19 – Vulnerabilidade Ambiental do Carste Olhos D'Água/Frei Paulo.

CLASSES	VULNERABILIDADE AMBIENTAL	
	%	Hectares
Muito Baixa	3,8%	9.717,55
Baixa	6,3%	16.110,675
Média	31,6%	80.809,1
Alta	15,6%	39.893,1
Muito Alta	42,7%	109.194,575

Organização: Heleno dos Santos Macedo, 2018

A maior parte das feições cársticas estão situadas nessa classe. Nela, encontramos áreas vinculadas aos principais trechos urbanos desse setor, com um forte grau de antropização dos condicionantes naturais, como a retirada da vegetação para prática da agropecuária; a presença de áreas ilegais de extração mineral (areia dos leitos dos canais intermitentes e rochas, como o calcário) para atender a demanda da construção civil dos municípios que compõem essa área (figura 7.21).

Figura 7.20 – Carta de Vulnerabilidade Ambiental. Carste Olhos D'Água/Frei Paulo.

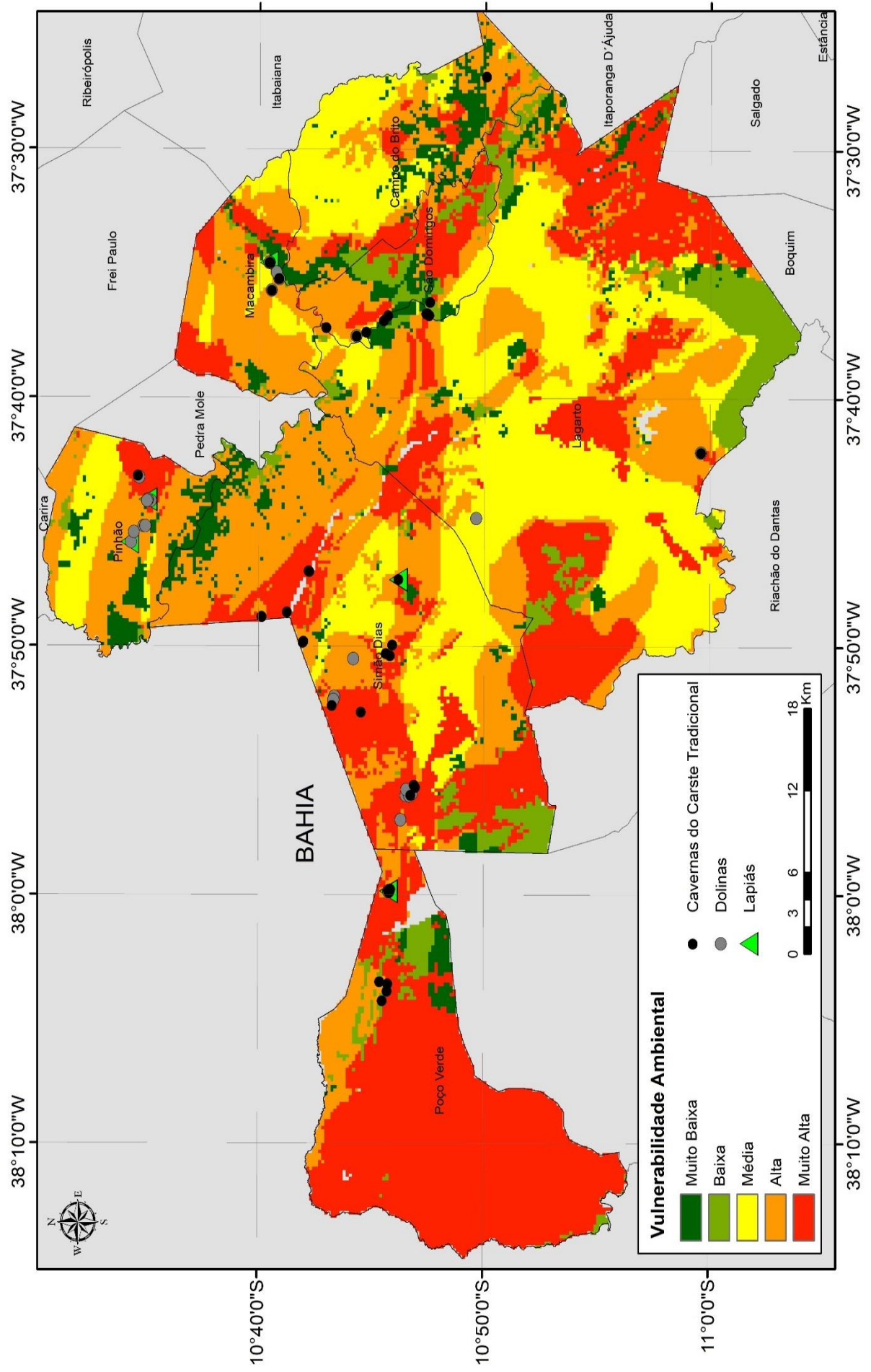


Figura 7.21 – Extração ilegal de metacalcário no município de Simão Dias.



Crédito: Heleno dos Santos Macedo, 2016.

Nas classes muito alta está associada aos tipos de litologia constituídas por rochas sedimentares e metassedimentares como o calcário, folhelho, metarenito, siltitos, entre outras. O relevo constituído pela unidade Pediplano Sertanejo e Serras residuais, com as declividades do tipo ondulado e médio ondulado, principalmente, nas faixas próximos ao Domo de Itabaiana e Simão Dias; os solos predominantes são do tipo Neossolos e Luvissolos, mais susceptíveis a morfogênese; aquíferos mais vulneráveis (granular e cárstico) interferem diretamente nesse resultado. Todos os municípios dessa área cárstica possuem trechos de suas terras com esse índice.

A segunda com maior área ocupada foi a classe denominada média, com 80.809,1 ha (oitenta mil, oitocentos e nove e um hectares) o equivalente a 31,6% do total. Nessa área ficam as sedes dos municípios desse setor cárstico, distantes, em sua grande maioria, das principais feições.

Além do impacto dos processos urbanos, encontramos nessa classe, o uso do solo para práticas agrícolas e pecuária, além da implementação de unidades fabris, como por exemplo, a Fabricante de Calçados Azaleia e a área de lavra de calcário e produção de Cal da Fábrica Cal Trevo no município de Simão Dias (figura 7.22).

Encontra-se nas bordas do Domínio Estância, Macururé, bordas do Domo de Itabaiana e, principalmente na faixa central do Domínio Vaza-Barris. Essa área possui características abióticas e bióticas que favorecem tanto a pedogênese como a própria morfogênese, com a presença de rochas Metassedimentares e metamórficas; aquífero do tipo fissural e

cárstico/fissural; o predomínio do Argissolos e Latossolos; precipitação média entorno de 75 a 100 mm/mês, entre outras. Essa classe ocupa 24.149,217 ha (vinte quatro mil, cento quarenta e nove e duzentos e dezessete hectares), o equivalente a 9,7% da área.

Figura 7.22 – Área de extração de calcário para a fabricação de cal em Simão Dias.



Crédito: Heleno dos Santos Macedo, 2018

O uso do solo é destinado principalmente a pecuária extensiva e o cultivo de milho e feijão para anteder ao mercado de Sergipe e Alagoas. Também é possível identificar essa classe nas bordas das áreas próximas aos rios Sergipe e Vaza-Barris, onde a prática piscicultura é realizada comumente.

A classe alta ocupa 15,6% ou 39.893,1 (trinta e nove mil, oitocentos e noventa e três e um hectares). Localiza-se nas faixas de maior declividade do relevo do tipo médio ondulado a escarpado; aquífero cárstico e cárstico/fissural; trechos cobertos por Luvisolos e Neossolos; relevo constituído pelas unidades Pediplano sertanejo e Serras residuais nas bordas dos Domos de Simão Dias e Itabaiana e cobertura vegetal substituída para implementação de práticas de agropecuária, com destaque para a cultura do milho, que ocupa a maior parte do solo destinado as práticas agrícolas (figura 7.23).

As classes muito baixa e baixa ocupam 3,8 % ou 9.717,55 (nove mil, setecentos e dezessete e cinquenta e cinco hectares) e 6,3%, ou 16.110,675 ha (dezesseis mil, cento e dez e seiscentos e setenta e cinco hectares) das áreas cársticas. São áreas onde não ocorreu a

implementação de indústrias, extração mineral e nem o avanço dos processos de urbanização. São áreas que mantêm parte da sua cobertura vegetal, além de outras características do meio físico, como litologia, clima/precipitação, solos e as formas de relevo favoreçam a pedogênese.

Figura 7.23 – Nas bordas do Domo de Simão Dias a cultura do milho destaca-se como principal prática agrícola nessa área cárstica – Município de Simão Dias.



Crédito: Heleno dos Santos Macedo, 2018

Os municípios que contêm em suas terras paisagens cársticas foram caracterizados como média, alta e muito alta vulnerabilidade natural e ambiental, demonstrando uma situação que pode colocar em perigo diversos ecossistemas, inclusive o humano.

Além de apresentar as relações decorrentes entre o meio natural, a sociedade e as práticas econômicas, o presente capítulo, evidencia a necessidade de intervenções do poder público nesse processo de ocupação do solo em consonância com as questões ambientais. Não se pode pensar em uma sociedade que venha utilizar os seus recursos sem mensurar os impactos que isso pode ocasionar a todos os sistemas abióticos e bióticos envolvidos.

O processo atual que vem sendo implementado, coloca determinados grupos sociais em situação de maior vulnerabilidade. Em alguns casos, por falta de informação /educação, a degradação e contaminação de uma determinada paisagem e oriunda das ações da própria população local, ocasionando problemas inclusive a saúde pública.

As ações antrópicas devem ser organizadas em âmbito público por toda a sociedade e pelos órgãos competentes, que devem exercer seu papel legislador, executivo, gestor e fiscalizador quanto as ações da população, visando o bem-estar de todos. Qualquer tipo de

subversão dessa organização pública, apontando uma vantagem individual, afeta diretamente toda uma rede social, aumentando o grau de vulnerabilidade da mesma.

7.2 - Metodologia para avaliação da Vulnerabilidade Natural e Ambiental de Paisagens Cársticas

7.2.1- Classificação do grau de relevância das cavernas

Para essa classificação, o grau de relevância é obtido pela quantidade de indicadores que determinada área possua. Os indicadores são os seguintes:

1. Gênese única ou rara;
2. Morfologia única;
3. Dimensões notáveis em extensão, área ou volume;
4. Espeleotemas únicos;
5. Isolamento geográfico;
6. Abrigo essencial para a preservação de populações geneticamente viáveis de espécies animais em risco de extinção, constantes de listas oficiais;
7. Habitat de troglóbio raro;
8. Interações ecológicas únicas;
9. Carste testemunho;
10. Destacada relevância histórico-cultural ou religiosa;
11. Presença de estrutura geológica de interesse científico;
12. Presença de registros paleontológicos;
13. Reconhecimento local do valor estético/cênico da cavidade;
14. Visitação pública sistemática na cavidade, com abrangência local;
15. Presença de água de percolação ou condensação com influência acentuada sobre os atributos;
16. Lago ou drenagem subterrânea intermitente com influência acentuada sobre os atributos da cavidade.

Para a realização desse levantamento foi necessário tabular as informações e identificar os indicadores que se fazem presentes ou ausentes nas cavidades inseridas no recorte

do presente trabalho. A partir desse levantamento foi elaborada um quadro com o grau de relevância da Paisagem Cárstica de Sergipe, Bacia Sergipe e Olhos d'água (quadros 7.1 e 7.2).

Quadro 7.1 - Classificação do Grau de relevância do Carste Bacia Sergipe.

	ATRIBUTO CONSIDERADO PARA CLASSIFICAÇÃO DE GRAU DE RELEVÂNCIA MÁXIMA	VARIÁVEL
01	Gênese única ou rara;	Ausente
02	Morfologia única;	Ausente
03	Dimensões notáveis em extensão, área ou volume;	Ausente
04	Espeleotemas únicos;	Ausente
05	Isolamento geográfico;	Ausente
06	Abrigo essencial para a preservação de populações geneticamente viáveis de espécies animais em risco de extinção, constantes de listas oficiais;	Presente
07	Habitat de troglóbio raro;	Ausente
08	Interações ecológicas únicas;	Ausente
09	Carste testemunho;	Ausente
10	Destacada relevância histórico-cultural ou religiosa;	Presente
11	Presença de estrutura geológica de interesse científico;	Presente
12	Presença de registros paleontológicos;	Ausente
13	Reconhecimento local do valor estético/cênico da cavidade;	Ausente
14	Visitação pública sistemática na cavidade, com abrangência local;	Ausente
15	Presença de água de percolação ou condensação com influência acentuada sobre os atributos;	Presente
16	Lago ou drenagem subterrânea intermitente com influência acentuada sobre os atributos da cavidade.	Presente

Organização: Heleno dos Santos Macedo, 2018.

Quadro 7.2 - Classificação do Grau de relevância do Carste Olhos D'água /Frei Paulo.

	ATRIBUTO CONSIDERADO PARA CLASSIFICAÇÃO DE GRAU DE RELEVÂNCIA MÁXIMA	VARIÁVEL
01	Gênese única ou rara;	Ausente
02	Morfologia única;	Ausente
03	Dimensões notáveis em extensão, área ou volume;	Ausente
04	Espeleotemas únicos;	Ausente
05	Isolamento geográfico;	Ausente
06	Abrigo essencial para a preservação de populações geneticamente viáveis de espécies animais em risco de extinção, constantes de listas oficiais;	Presente
07	Habitat de troglóbio raro;	Ausente
08	Interações ecológicas únicas;	Ausente
09	Carste testemunho;	Ausente
10	Destacada relevância histórico-cultural ou religiosa;	Presente
11	Presença de estrutura geológica de interesse científico;	Presente
12	Presença de registros paleontológicos;	Presente
13	Reconhecimento local do valor estético/cênico da cavidade;	Ausente
14	Visitação pública sistemática na cavidade, com abrangência local;	Presente
15	Presença de água de percolação ou condensação com influência acentuada sobre os atributos;	Presente
16	Lago ou drenagem subterrânea intermitente com influência acentuada sobre os atributos da cavidade.	Presente

Organização: Heleno dos Santos Macedo, 2018.

Usando esses critérios o grau de relevância do carste sergipano seria considerado baixo, ou seja, a maior parte das cavidades naturais poderiam ser suprimidas. Isso decorre, devido aos indicadores que são utilizados, e que no caso de Sergipe, não são encontrados devido ao grau de desenvolvimento (morfológico) ser incipiente, e por esse motivo a maior parte deles são classificados como ausentes.

Porém, sabemos que cada cavidade acaba possuindo relevância em várias escalas e para fins diferentes. As cavernas sergipanas podem não possuir espeleotemas relevantes, drenagem subterrânea, as projeções horizontas e verticais como os grandes sistemas de cavernas

da Bahia e de Minas Gerais, porém, no tocante a fauna, elas são possuidoras de uma diversidade que os outros complexos de cavernas pelo Brasil e, em alguns casos, cavernas em outros locais no mundo, não possuem.

Portanto, não é indicado para Sergipe o uso do grau de relevância proposto pelo o Decreto Nº 6.640/2008, bem como, se faz necessário em escala nacional, uma revisão desse decreto afim de impedir que pequenas cavidades possam ser suprimidas, comprometendo a biotasia de ecossistemas nas mais variadas escalas de análise.

7.2.2 – *Karst Disturbance Index* (KDI) aplicado ao Carste Sergipano

Para o carste tradicional Bacia Sergipe a pontuação dos indicadores demonstrou que a maioria dos atributos se encontram numa situação de alterações leves, como é o caso dos atributos solos, qualidade da água, vegetação na caverna, ou mesmo não possuem exemplares nessa área cárstica (quadro 7.3).

Quadro 7.3 – Indicadores e pontuação atribuída para o KDI do Carste Bacia Sergipe.

CATEGORIA	ATRIBUTOS	ESCALA	INDICADOR	PONTUAÇÃO
Geomorfologia	Superfície do relevo	Macro	Mineração	3
		Macro/Meso	Inundações (Hidrelétrica, irrigação)	1
		Meso	Drenagem de águas pluviais	1
		Meso	Entupimento/entulhamento	1
		Meso	Depósito de Lixo	2
	Solo	Macro	Erosão	1
		Micro	Impermeabilização	1
	Sub-superfície cárstica	Macro	Inundações na caverna	0
		Micro	Vandalismo (remoção de decoração)	2
		Micro	Remoção de sedimentos minerais	2
		Micro	Compactação de sedimentos no chão	1
Atmosfera	Qualidade do ar	Macro	Dissecação	LD
		Micro	Condensação/Corrosão induzidas pelo homem	LD
Hidrologia	Qualidade da água	Meso	Pesticidas/herbicidas	LD
		Micro	Derramamentos industriais/petróleo	LD
	Qualidade da água	Macro/Meso/Micro	Floração de algas	1
	Quantidade da água	Macro	Alteração na tabela de água	1
		Micro	Alterações nas águas da caverna/gotejamento	2
Biota	Perturbação na vegetação	Macro/Meso/Micro	Remoção de vegetação	3
	Vegetação na caverna	Micro	Riqueza de espécies	1
		Micro	Densidade populacional	1

Continuação

	Biota do subsolo	Micro	Riqueza de espécies	2
		Micro	Densidade populacional	2
Fatores Culturais	Artefatos humanos	Macro/Meso/Micro	Destruição/remoção de artefatos históricos	LD
		Macro/Meso/Micro	Proteção regulamentar	LD
	Proteção do carste	Macro/Meso/Micro	Cumprimento dos regulamentos	0
		Macro/Meso/Micro	Educação pública	0
		Macro	Construção de estradas	2
	Infraestrutura	Meso	Construção sob feições cársticas	3
		Micro	Construção dentro das cavernas	0

Organização: Heleno dos Santos Macedo, 2018.

Os atributos que foram indicados estado grave foram os de sub-superfície cárstica, principalmente ligado ao vandalismo, muito comum nas cavernas desse setor cárstico, bem como, a remoção de sedimentos (figura 7.24). Depósitos de lixo, riquezas de espécies e densidade populacional da fauna também se encontra em uma situação considerada grave.

Figura 7.24 – Espeleotemas destruídos em cavidade em Laranjeiras.



Créditos: Heleno dos Santos Macedo, 2018.

Os atributos que se encontram em estado catastrófico estão relacionados a superfície do relevo, perturbação na vegetação e infraestrutura, para os indicadores mineração, remoção de vegetação e construção sobre feições cársticas. Essa pontuação ocorre devido ao uso da terra nessa área cárstica, que está principalmente relacionada ao benéfico do calcário, e que consequentemente acabou implementado toda uma infraestrutura urbana e de escoamento do produto sobre esse ambiente

Nos atributos proteção do carste, artefatos humanos, qualidade do ar, e alguns indicadores de qualidade da água foram definidas como LD “*Lack of Data*”, que significa falta de dados, sugerindo que mais estudos na área são necessários para avaliar o indicador.

No tocante a classificação dos impactos sobre paisagem cárstica da Bacia Sergipe foi considerada de baixo impacto (pontuação de 0,38). Mesmo apresentado indicadores catastróficos, no contexto geral, vai possuir paisagens cársticas com processos de antropização de baixa relevância. Isso também decorre devido ao tamanho das cavidades, o número reduzido de feições do exocarste, e da dificuldade de acesso a maioria dessas feições. O valor de LD para o carste Bacia Sergipe foi de 0,2 indicando que o método KDI atingiu o esperado na avaliação da área.

O carste tradicional Olhos d’água/Frei Paulo, assim como o carste Bacia Sergipe, a pontuação dos indicadores demonstrou que se encontram numa situação de alterações leves (quadro 7.4). Indicadores como mineração, drenagem de águas pluviais, impermeabilização do solo, compactação de sedimentos no chão, variedades de espécies de vegetação foram considerados de baixa alteração. Isso é em decorrência que as paisagens cársticas dessa área encontram-se mais afastadas das principais áreas urbanas, e também, os acessos a tais feições acabam sendo dificultados pela cobertura vegetal ou gradiente do relevo.

Os indicadores que se encontram em situação grave foram os atrelados a irrigação, a processos erosivos, remoção de sedimentos minerais e a pequena biota de subsolo, pois a partir das visitas de campo foi possível observar que a fauna é bem menor nessa unidade cárstica.

Os indicadores que foram atribuídos uma situação catastrófica estão relacionadas ao manejo da paisagem pela sociedade no seu processo de uso e ocupação. A ausência de aterros se configura como um grave problema para esse setor cárstico, pois a ausência do mesmo acaba levando a população a depositar seus resíduos em dolinas (figura 7.25).

Figura 7.25 – Descarte de resíduos sólidos em dolina no município de Simão Dias.

Créditos: Heleno dos Santos Macedo, 2018.

Quadro 7.4 – Indicadores e pontuação atribuída para o KDI do Carste Olhos d'água/Frei Paulo.

CATEGORIA	ATRIBUTOS	ESCALA	INDICADOR	PONTUAÇÃO
Geomorfologia	Superfície do relevo	Macro	Mineração	1
		Macro/Meso	Inundações (Hidrelétrica, irrigação)	2
		Meso	Drenagem de águas pluviais	1
		Meso	Entupimento/entulhamento	1
		Meso	Depósito de Lixo	3
	Solo	Macro	Erosão	2
		Micro	Impermeabilização	1
	Sub-superfície cárstica	Macro	Inundações na caverna	0
		Micro	Vandalismo (remoção de decoração)	2
		Micro	Remoção de sedimentos minerais	2
Micro		Compactação de sedimentos no chão	1	
Atmosfera	Qualidade do ar	Macro	Dissecação	LD
		Micro	Condensação/Corrosão induzidas pelo homem	LD
Hidrologia	Qualidade da água	Meso	Pesticidas/herbicidas	LD
		Micro	Derramamentos industriais/petróleo	LD
	Qualidade da água	Macro/Meso/Micro	Floração de algas	0
	Quantidade da água	Macro	Alteração na tabela de água	0
		Micro	Alterações nas águas da caverna/gotejamento	1
Biota	Perturbação na vegetação	Macro/Meso/Micro	Remoção de vegetação	3
	Vegetação na	Micro	Riqueza de espécies	1
		Micro	Densidade populacional	1
	Biota do subsolo	Micro	Riqueza de espécies	2
		Micro	Densidade populacional	1

Continuação

Fatores Culturais	Artefatos humanos	Macro/Meso/Micro	Destruição/remoção de artefatos históricos	LD
	Proteção do carste	Macro/Meso/Micro	Proteção regulamentar	LD
		Macro/Meso/Micro	Cumprimento dos regulamentos	0
		Macro/Meso/Micro	Educação pública	0
	Infraestrutura	Macro	Construção de estradas	2
		Meso	Construção sob feições cársticas	1
		Micro	Construção dentro das cavernas	0

Organização: Heleno dos Santos Macedo, 2018.

Além disso o processo de substituição de mata para a prática da produção de grãos também vem corroborando para essa situação no tocante aos impactos sofridos pelas coberturas vegetais em todos os municípios dessa unidade cárstica.

Nos atributos proteção do carste, artefatos humanos, qualidade do ar, e alguns indicadores de qualidade da água foram definidas como LD, sugerindo novos estudos para avaliar o indicador. Outros indicadores não foram encontrados na área, por esse motivo, foram atribuídos a pontuação zero aos mesmos.

No tocante a classificação dos impactos sobre a paisagem cárstica Olhos d'água /Frei Paulo, acabou sendo considerada de baixo impacto (pontuação de 0,31). Isso decorre ao tamanho das cavidades e a dificuldade de acesso, o número reduzido de feições do exocarste. O valor de LD para esse carste foi de 0,2 indicando que o método KDI atingiu o esperado na avaliação da área.

7.2.3 Planejamento e Gestão de Paisagens Cársticas (PGPAC)

Para o carste Bacia Sergipe, os valores de A, B e C respectivamente foram de 20, 19 e 11 (quadros 7.5, 7.6 e 7.7), obtendo uma média de 16,6, sendo considerado segundo essa metodologia como um carste de média relevância. Essa média é em decorrência da incipiência, principalmente no critério morfologia do carste presente nessa área, além de dados relativos a pesquisa e acesso também terem corroborado para essa classificação.

Quadro 7.5 – A: Escala com valores para os critérios intrínsecos ao Carste Bacia Sergipe.

	CRITÉRIO	ESCALA	VARIÁVEL A SER OBSERVADA
A1	Abundância / Raridade	1	Existem mais que 20 exemplos.
A2	Extensão	1	Menor que 1.000
A3	Grau de conhecimento científico	3	Pelo menos um artigo publicado em revista internacional ou quatro artigos publicados em revistas nacionais.

A4	Utilidade como modelo para ilustração de processos geológicos	3	Moderadamente útil.
A5	Diversidade de elementos de interesse	3	Três tipos de interesse.
A6	Local – tipo	3	É reconhecido como local – tipo secundário.
A7	Associação com elementos de índole Cultural	3	Existem vestígios arqueológicos.
A8	Estado de conservação	3	Existem escavações, acumulações ou construções, mas que não impedem a observação das suas características essenciais.

Organização: Heleno dos Santos Macedo; Hélio Mário de Araújo, 2018.

Quadro 7.6 - B: Escala com valores para os critérios relacionados com o potencial da área do Carste Bacia Sergipe.

	CRITÉRIOS	ESCALA	VARIÁVEL A SER OBSERVADA
B1	Possibilidade de realizar atividades científicas, pedagógicas, turísticas e recreativas	3	É possível realizar atividades científicas ou pedagógicas.
B2	Condições de observação	1	Deficientes.
B3	Possibilidade de coleta de objetos geológicos	4	É possível a coleta e minerais ou de rochas ou de fósseis sem danificar a área.
B4	Acessibilidade	3	Acesso a partir de caminhos não-asfaltados, mas facilmente transitáveis por automóveis.
B5	Proximidade a povoados	3	Existe uma localidade com oferta hoteleira entre 5 a 20 km.
B6	Número de habitantes	4	Existem entre 50.000 e 100.000 habitantes em um raio de 25 km.
B7	Condições socioeconômicas	1	Os níveis de rendimento per capita, de educação e de desemprego da área são piores em relação à média nacional.

Organização: Heleno dos Santos Macedo; Hélio Mário de Araújo, 2018.

Quadro 7.7 – C: Escala com valores para os critérios relacionados com a necessidade de proteção da área do Carste Bacia Sergipe.

	CRITÉRIOS	ESCALA	VARIÁVEL A SER OBSERVADA
C1	Ameaças atuais ou potenciais	3	Zona de caráter intermediário sem previsão de desenvolvimentos concretos, mas que apresenta razoáveis possibilidades num futuro próximo.
C2	Situação atual	3	Área incluída em um local com proteção legal (federal, estadual ou municipal).
C3	Interesse para a exploração mineira	1	A área encontra-se em uma zona com grande interesse mineiro para recursos com elevado valor unitário e com concessões ativas.
C4	Valor dos terrenos (reais /m ²)	1	Superior a 60
C5	Regime de propriedade	1	Terreno privado pertencente a várias propriedades.
C6	Fragilidade	2	Aspectos estruturais com formações rochosas de dimensões decamétricas que podem ser facilmente destruídas por intervenções antrópicas pouco expressivas.

Organização: Heleno dos Santos Macedo; Hélio Mário de Araújo, 2018.

Para o carste Olhos d'água/Frei Paulo, a pontuação para os itens A, B e C foram de 21, 24 e 11 respectivamente, obtendo uma média de 18,66 sendo enquadrado na classificação como média relevância as paisagens cársticas dessa área (quadros 7.8, 7.9 e 7.10).

Os critérios atribuídos para essa classificação levam em consideração o desenvolvimento estrutural, o acesso e o quanto essa paisagem vem sendo estudada, bem como o seu grau de fragilidade na qual se encontra. Assim como na outra área cárstica, as incipiências desses critérios tornam sua classificação mediana.

Quadro 7.8 – A: Escala com valores para os critérios intrínsecos ao Carste Olhos d'água/Frei Paulo.

	CRITÉRIO	ESCALA	VARIÁVEL A SER OBSERVADA
A1	Abundância / Raridade	1	Existem mais que 20 exemplos.
A2	Extensão	1	Menor que 1.000
A3	Grau de conhecimento científico	3	Pelo menos um artigo publicado em revista internacional ou quatro artigos publicados em revistas nacionais.
A4	Utilidade como modelo para ilustração de processos geológicos	5	Muito útil.
A5	Diversidade de elementos de interesse	5	Cinco ou mais tipos de interesse. Quatro tipos de interesse.
A6	Local – tipo	1	Não é reconhecido como local – tipo.
A7	Associação com elementos de índole Cultural	2	Existem elementos de interesse não-arqueológico.
A8	Estado de conservação	3	Existem escavações, acumulações ou construções, mas que não impedem a observação das suas características essenciais.

Organização: Heleno dos Santos Macedo; Hélio Mário de Araújo, 2018.

Quadro 7.9 - B: Escala com valores para os critérios relacionados com o potencial da área do Carste Olhos d'água/Frei Paulo.

	Critérios	Escala	VARIÁVEL A SER OBSERVADA
B1	Possibilidade de realizar atividades científicas, pedagógicas, turísticas e recreativas	3	É possível realizar atividades científicas ou pedagógicas.
B2	Condições de observação	3	Razoáveis.
B3	Possibilidade de coleta de objetos geológicos	4	É possível a coleta e minerais ou de rochas ou de fósseis sem danificar a área.
B4	Acessibilidade	3	Acesso a partir de caminhos não-asfaltados, mas facilmente transitáveis por automóveis.
B5	Proximidade a povoados	3	Existe uma localidade com oferta hoteleira entre 5 a 20 km.
B6	Número de habitantes	5	Existem mais de 100.000 habitantes em um raio de 25km.
B7	Condições socioeconômicas	3	Os níveis de rendimento per capita, de educação e de desemprego da área são equivalentes à média nacional.

Organização: Heleno dos Santos Macedo; Hélio Mário de Araújo, 2018.

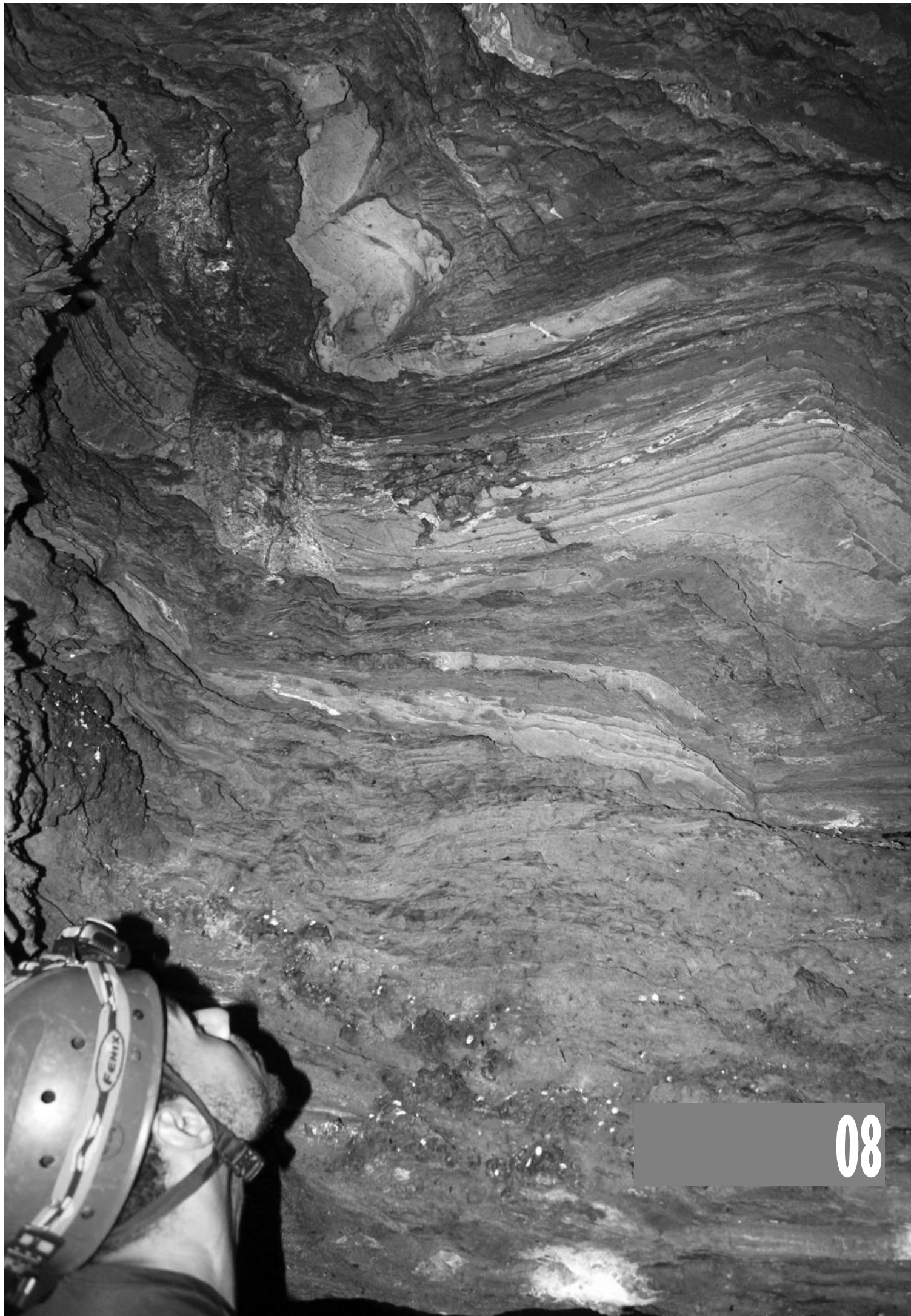
Quadro 7.10 – C: Escala com valores para os critérios relacionados com a necessidade de proteção da área do Carste Olhos d'água/Frei Paulo.

	CRITÉRIOS	ESCALA	VARIÁVEL A SER OBSERVADA
C1	Ameaças atuais ou potenciais	3	Zona de caráter intermediário sem previsão de desenvolvimentos concretos, mas que apresenta razoáveis possibilidades num futuro próximo.
C2	Situação atual	3	Área incluída em um local com proteção legal (federal, estadual ou municipal).
C3	Interesse para a exploração mineira	1	A área encontra-se em uma zona com grande interesse mineiro para recursos com elevado valor unitário e com concessões ativas.
C4	Valor dos terrenos (reais /m ²)	1	Superior a 60
C5	Regime de propriedade	1	Terreno privado pertencente a várias propriedades.
C6	Fragilidade	2	Aspectos estruturais com formações rochosas de dimensões decamétricas que podem ser facilmente destruídas por intervenções antrópicas pouco expressivas.

Organização: Heleno dos Santos Macedo; Hélio Mário de Araújo, 2018.

Ao comparar as duas áreas cársticas, percebemos que a distribuição da pontuação das escalas é semelhante em vários critérios, o que leva a essas paisagens possuírem uma classificação idêntica no quesito grau de relevância.

Essa metodologia atende melhor casos onde os fatores morfogenéticos, morfoestruturais e morfodinâmicos não permitiram o desenvolvimento de grandes sistemas cársticos, como é o caso de Sergipe. Outro ponto importante a ser mencionado é que, essa metodologia enfatiza a pesquisa e a relação da sociedade com as feições cársticas, mesmo que essa relação não seja direta.



08. INSTRUMENTOS PARA O PLANEJAMENTO E GESTÃO DE PAISAGENS CÁRSTICAS E SUAS POSSÍVEIS APLICAÇÕES EM SERGIPE

8.1 Zoneamento Ambiental para o carste tradicional em Sergipe

Para o carste sergipano, a partir das variáveis necessárias para a elaboração de uma proposta de zoneamento ambiental abordadas anteriormente nesse capítulo, foram definidas cinco zonas, abrangendo o carste da Bacia Sergipe e Olhos d'água/Frei Paulo.

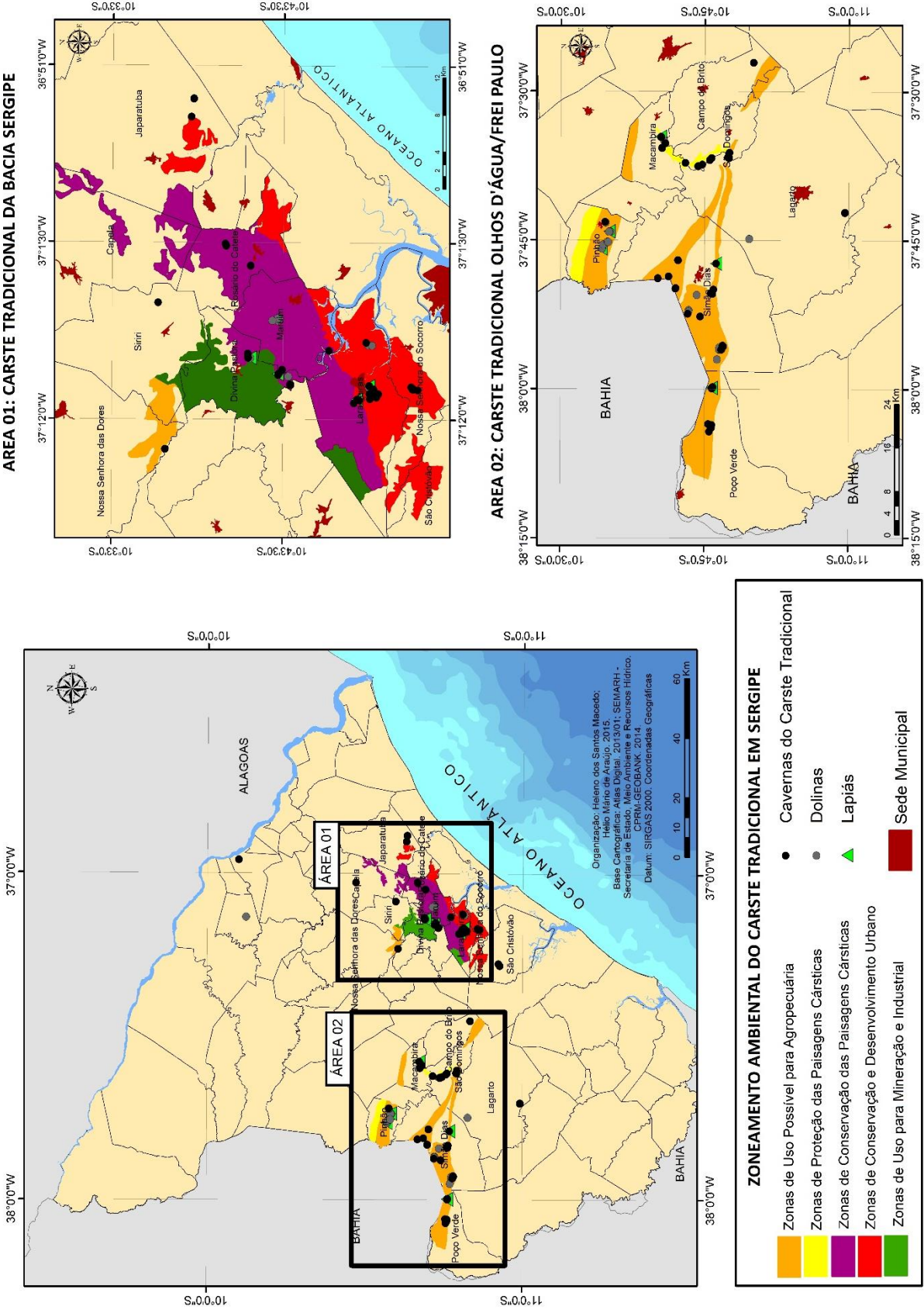
Essas zonas levaram em consideração as inter-relações entre os sistemas físicos (presença de exocarste e endocarste, cobertura vegetal, sistemas hidrográficos, formas de relevo, solos com maior susceptibilidade aos processos erosivos, o sistema de águas subterrâneas) e as intervenções já impostas pelas atividades humanas (áreas urbanas, atividades de agropecuária, mineração, indústria), no intuito de nortear futuros projetos de ocupação do solo, bem como, mitigar as áreas que possuam avançados processos de degradação.

A denominação das zonas, foram associadas ao principal objetivo da criação da mesma, sendo observados a proposta da APA Carste Lagoa Santa (MG); De Nardini (2009), Macedo (2014), Lima (2016). As zonas para o carste tradicional de Sergipe são: Zonas de Uso Possível para Agropecuária (ZUPA); Zonas de Proteção das Paisagens Cársticas (ZPPC); Zonas de Conservação das Paisagens Cársticas (ZCPC); Zonas de Conservação e Desenvolvimento Urbano (ZCDU) e as Zonas de Uso para Mineração e Indústria (ZUMI) – figura 8.1.

a) Zonas de Uso Possível para Agropecuária (ZUPA)

A zona de uso possível compreende uma faixa territorial de 453,5 km², abrangendo trechos nos municípios de Nossa Senhora das Dores Siriri (Carste Tradicional da Bacia Sergipe) e os municípios de Pinhão, Poço Verde, Simão Dias, Lagarto, São Domingos, Campo do Brito e Macambira (Carste Tradicional Olhos d'água).

Figura 8.1 - Zoneamento Ambiental do Carste Tradicional em Sergipe.



Elaboração: Heleno dos Santos Macedo, 2018.

São áreas que já possuem alguma prática que envolve a agropecuária, mas que precisam ser estabelecidos critérios para que o desenvolvimento da atividade econômica não venha ampliar os impactos sobre as paisagens cársticas. São observados também nessa zona, que alguns trechos as características pedológicas e susceptibilidade a erosão são evidenciadas, e, por esse motivo, devem possuir formas de utilização que não agredam diretamente as suas características físicas, como a redução da mecanização de cultivos, a rotação de culturas e o excesso hídrico, sendo então preciso um manejo adequado.

Essa Zona corresponde a porções onde atualmente obtém-se uma produtividade expressiva de grãos, principalmente o milho e o Feijão, nos municípios de Simão Dias e Poço Verde respectivamente (figuras 8.2 e 8.3). Nos municípios do carste Bacia Sergipe, o destaque é o uso do solo para o cultivo da cana-de-açúcar e da prática da pecuária leiteira.

Figura 8.2 – Prática da cultura o milho no município de Simão Dias (ao fundo).



Crédito: Heleno dos Santos Macedo, 2016.

Figura 8.3 – Prática da cultura do Feijão no município de Poço Verde.



Crédito: Heleno dos Santos Macedo, 2016.

Para essa zona, o uso permitido se enquadra:

- Agricultura e pecuária sob condições de manejo que propiciem baixo consumo de recursos ambientais, promovam o desenvolvimento de tecnologias que associem alta produtividade e redução de impactos ambientais;
- Produção florestal com utilização de manejo em bases ecológicas, condicionada à recomposição florística com espécies exóticas ou nativas em pelo menos 20% da área de produção;
- Utilização dos recursos hídricos subterrâneos, de acordo com a capacidade de renovação das reservas reguladoras;
- Atividades de extração e beneficiamento mineral regularmente aprovadas pelo OAC, condicionadas à implantação de sistemas de tratamento e disposição adequada de efluentes, à recuperação ambiental das áreas degradadas;
- Agroindústrias de pequeno porte e de baixo potencial poluidor, complementares às atividades agropecuárias da região.

Não são permitidos os usos para:

- Parcelamento do solo destinado a loteamentos com finalidades urbanas;
- Agricultura e pecuária, em áreas com declividades superiores a 45 % e/ou em condições de manejo que demandem alto consumo de recursos naturais, e impacto ambiental com grande interferência espacial;
- Utilização de áreas para disposição e tratamento de efluentes sanitários, resíduos sólidos domésticos ou industriais, sob condições que impliquem risco de poluição do solo e das águas superficiais e subterrâneas;
- Disposição de efluentes ou de resíduos orgânicos, de agrotóxicos ou de fertilizantes, provenientes da atividade agropecuária, especialmente em dolinas, uvalas e planícies;
- Implantação e operação de indústrias de alto potencial poluidor.

b) Zonas de Proteção das Paisagens Cársticas (ZPPC)

Corresponde a menor zona, com um total de 61,35 km² abrangendo trechos dos municípios de Pinhão, Macambira, Campo do Brito e São Domingos. Nessa área são encontradas importantes feições do endocarste e do exocarste sergipano, com características que as torna de máxima relevância como a presença de espeleotemas únicos e a presença de uma fauna diversificada (figura 8.4).

Mesmo possuindo uma relevância para o carste de Sergipe, as feições presentes nessa unidade da paisagem são ameaçadas pelo avanço das práticas da agropecuária e da mineração clandestina, principalmente, de calcário para uso da construção civil. Se faz necessário uma intervenção no intuito de impedir que haja um avanço das atividades econômicas, e ainda impedir que eventos como o descarte de resíduos sólidos em dolinas venham a ocorrer, como observado em Pinhão (figura 8.5).

Figura 8.4 – Processo ativo de deposição do carbonato de cálcio recobrindo uma antiga cortina. Furna do Flecheiro em São Domingos/SE.



Crédito: Heleno dos Santos Macedo, 2016.

Figura 8.5 – Resíduos Sólidos descartados em dolina no município de Pinhão/SE.



Crédito: Heleno dos Santos Macedo, 2016.

Para a ZPPC os usos permitidos são:

- Reflorestamento com espécies nativas visando ao adensamento da vegetação e recomposição florística, principalmente nos entornos das áreas de vegetação natural;
- Pesquisa científica;
- Atividades agro-silvo-pastoris, em áreas cársticas com declividade inferior a 45 % e que utilizem técnicas de manejo compatíveis com os processos naturais dos ecossistemas;
- Turismo ecológico dirigido que utilize técnicas de acesso com baixo impacto sobre os ambientes a serem preservados;
- Pesca artesanal e de subsistência.

Não são permitidos para os seguintes usos:

- Novas atividades de extração mineral em maciços que contenham feições cársticas expressivas, sítios arqueológicos e paleontológicos;
- Criação intensiva de animais;
- Agricultura intensiva ou com uso de defensivos e fertilizantes tóxicos, potencialmente poluentes;
- Parcelamento do solo destinado a loteamentos, com finalidades urbanas ou áreas de recreação;
- Implantação e operação de indústrias;
- Utilização de áreas para disposição e tratamento de efluentes sanitários, resíduos sólidos domésticos ou industriais, sob quaisquer condições;
- Disposição de efluentes ou resíduos de substâncias químicas, de agrotóxicos ou de fertilizantes tóxicos;
- Ocupação de faixas limítrofes dos mananciais, cursos d'água e lagoas, conforme normalização do Código Florestal.

c) Zonas de Conservação das Paisagens Cársticas (ZCPC)

Essa zona ocupa parte dos municípios de Laranjeiras, Maruim, Divina Pastora, Rosário do Catete, Capela e Japaratuba, perfazendo um total de 288,05 km². Nessa zona encontramos

processos de dolinamentos, lapiasamento, cavidades naturais e uma fauna cavernícola diversificada, composta por insetos, mamíferos, répteis, anfíbios, entre outros (figura 8.6).

Figura 8.6 – Fauna cavernícola constituída principalmente por morcegos frugíveros na Caverna de Pedra Branca em Maruim/SE.



Crédito: Heleno dos Santos Macedo, 2016.

Atualmente nessa faixa, estão assentadas as sedes municipais dos municípios de Maruim e Rosário do Catete, e parcialmente do município de Laranjeiras. Esse crescimento urbano acarreta no aumento do número de resíduos sólidos produzidos, o aumento no descarte de efluentes sobre as unidades da paisagem se nenhum tratamento, entre outros impactos diretos ao desenvolvimento do sistema cárstico. Outra característica dessa zona é a implementação de grandes corporações extrativistas, nas últimas décadas do século XX, principalmente produtoras de cimento, empresas que colocam as feições cársticas em condições de serem suprimidas sem que haja estudos prévios.

Outro impacto observado dentro dessa zona e que deve ser coibido, é o processo ilegal de extração de calcário (figura 8.7). Parte das famílias sobrevivem da exploração ilegal de calcário para construção civil. Porém, essa prática econômica acaba ameaçando as cavidades, bem como sua fauna.

Figura 8.7 – Extração clandestina de calcário no município de Laranjeiras/SE.



Crédito: Heleno dos Santos Macedo, 2016.

No município de Capela, a ZCPC abrange parte da reserva mata do junco, importante unidade de preservação do estado de Sergipe, que contém resquícios da biodiversidade da mata Atlântica brasileira.

Por ser uma zona onde os processos de antropização já ocorrem há décadas, a proposta dessa área baseou-se na ideia de conservação das áreas cársticas remanescentes, evitando o avanço dos processos de ocupação desordenadas sobre essas áreas não impactadas.

São permitidos os usos para:

- Criação animal em pastagens consorciadas, sob condições de manejo que propiciem baixo impacto ambiental, preservando-se as espécies arbóreas de médio e grande porte das formações vegetais naturais;
- Agricultura com manejo ecológico, adotando-se medidas de conservação do solo, controle biológico de pragas, restrição ao uso de biocidas, agrotóxicos e fertilizantes tóxicos;
- Produção florestal com utilização de manejo em bases ecológicas, condicionada à recomposição florística com espécies exóticas e nativas em, no mínimo, 20% da área de produção;

- Turismo ecológico condicionado à implantação de infraestrutura sanitária, preservando-se as condições ambientais locais e não induzindo à concentração populacional;
- Atividades de pesquisas técnica e científica, especialmente voltadas à biodiversidade, espeleologia, arqueologia, paleontologia, limnologia e hidrogeologia, bem como a outras de interesse científico e ambiental;
- Utilização dos recursos hídricos subterrâneos, de acordo com a capacidade de renovação das reservas reguladoras;
- Atividades de extração e beneficiamento mineral regularmente aprovadas pela Administração Estadual de Meio ambiente - ADEMA, condicionadas à implantação de sistemas de tratamento e disposição adequada de efluentes, à recuperação ambiental das áreas degradadas;
- Implantação e operação de indústrias de pequeno porte e não-poluente, complementares às atividades permitidas nesta zona.

Não serão permitidos sobre essa zona as seguintes práticas:

- Criação intensiva de animais, com alto impacto ambiental;
- Agricultura intensiva com alto impacto ambiental;
- Parcelamento do solo destinado a loteamentos urbanos;
- Utilização de áreas para disposição e tratamento de efluentes sanitários, resíduos sólidos domésticos ou industriais;
- Disposição de efluentes ou resíduos químicos, de agrotóxicos ou de fertilizantes;
- Implantação e operação de indústrias com potencial poluidor.

d) Zonas de Conservação e Desenvolvimento Urbano (ZCDU)

Essa zona está assentada sobre os municípios de São Cristóvão, Nossa Senhora do Socorro, Igarapé, Maruim, Rosário do Catete e Japaratuba, um total de 183,62 km². Uma característica importante dessa zona é o rápido processo de urbanização e industrialização que vem ocorrendo sobre as paisagens desses municípios.

Com exceção de Rosário do Catete e Japaratuba, os demais municípios se encontram dentro da zona de influência do processo de metropolização de Aracaju. Isso acaba provocando uma expansão no número de instrumentos que são implementados nessas áreas metropolitanas,

no intuito de atender a demanda crescente de pessoas. Além disso, por possuírem um preço menor do m² da terra, bem como, outras vantagens fiscais, esses municípios acabam atraindo indústrias de pequeno e médio porte, além de grandes incorporadoras que ofertam habitações para as classes de menor poder aquisitivo.

São área com práticas econômicas nos três setores, destacando o setor secundário e terciário. Nessa zona, encontra-se uma das mais importantes companhias de Sergipe, a FAFEN, que devido a sucessivos prejuízos foi desativada parcialmente em 2018 (figura 8.8).

Figura 8.8 – Unidade da FAFEN nas margens do rio Contiguiba no município de Laranjeiras/SE.



Crédito: Heleno dos Santos Macedo, 2016.

Para essa zona foram permitidos:

- Assentamentos urbanos, residencial, comercial e de serviços (*com médio a baixo índice de ocupação*), observadas as condições de implantação de arruamentos, obras de drenagem e controle de erosão, compatíveis com as vulnerabilidades geotécnicas e hidrogeológicas dos terrenos;
- Loteamentos e conjuntos habitacionais com *alto índice* de ocupação desde que implantados em áreas com adequação geotécnica para o assentamento urbano e infraestrutura de saneamento básico;

Não são permitidos os seguintes usos:

- Disposição de efluentes ou de resíduos urbanos ou industriais, resíduos de agrotóxicos ou de fertilizantes e outros resíduos perigosos;
- Expansão de loteamentos urbanos em áreas de alta vulnerabilidade geotécnica e de poluição dos aquíferos cársticos;
- Expansão do perímetro urbano sobre áreas de alta vulnerabilidade geotécnica ou de poluição dos aquíferos, e onde se observarem conjuntos de *ocorrências ambientais*.

e) Zonas de Uso para Mineração e Indústria (ZUMI)

Zona criada devido à presença de jazidas de exploração de argila, calcário e areia próximo da borda dos Tabuleiros Costeiros. Essa atividade, causadora de impactos ambientais diretos nas áreas onde se estabelecem, representa uma atividade econômica tradicional nas terras vinculadas. Abrange nos municípios de Laranjeiras, Divina Pastora e Siriri, um total de 183,62 km².

Porém, a ação de algumas mineradoras, acabam acarretando consequências desastrosa para os sistemas cársticos, como o caso de abatimentos de cavidades de pequeno porte para a retirada de calcário. Outra função dessa zona é permitir a exploração de determinados tipos de materiais no entorno de feições cársticas, sem que haja impacto direto sobre essas morfologias.

A ZUMI possui permissão de uso para os seguintes casos:

- Atividades de mineração existentes (em operação), regularmente licenciadas pela ADEMA. Além das exigências já contidas na licença ambiental, estes empreendimentos deverão manter intactos sítios espeleológicos, arqueológicos ou paleontológicos que ocorrerem nas áreas de suas concessões ou nas imediações de suas lavras e responsabilizar-se por sua salvaguarda;
- Tratar e dispor adequadamente seus efluentes líquidos, sem que se configure alteração das águas subterrâneas ou superficiais; dispor estéril e rejeitos sem que haja interferência sobre o sistema de dolinas e sumidouros. Nos casos de ampliação dos empreendimentos, deverão ser realizados novos estudos de impacto ambiental;
- Utilização de áreas para tratamento de efluentes sanitários, resíduos sólidos domésticos ou industriais;

- Assentamentos urbanos já instalados em áreas inadequadas, desde que passem a ser dotados de sistemas de coleta, disposição e tratamento de efluentes sanitários, e das necessárias obras de drenagem e de contenção de taludes;

Não são possíveis as práticas de:

- Disposição de efluentes ou de resíduos urbanos ou industriais, resíduos de agrotóxicos ou de fertilizantes e outros resíduos perigosos;
- Expansão de loteamentos urbanos em áreas de alta vulnerabilidade geotécnica e de poluição dos aquíferos cársticos;
- Expansão do perímetro urbano sobre áreas de alta vulnerabilidade geotécnica ou de poluição dos aquíferos, e onde se observarem conjuntos de *ocorrências ambientais*.
- Novas atividades de extração mineral que estejam próximos a feições cársticas expressivas, sítios espeleológicos, arqueológicos e paleontológicos, reconhecidos como patrimônio cultural.

8.2. Planos Diretores ambientais para o carste tradicional em Sergipe

Os municípios que compõem o carste tradicional da Bacia Sergipe, possui uma população total de 376.692 habitantes. Com exceção de Divina Pastora, Japaratuba e Siriri, os demais municípios possuem a maior parte da sua população na zona urbana (tabela 8.1).

Tabela 8.1 – Total da população no Carste Bacia Sergipe.

Municípios	População total 2010 (mil/hab.)	População rural 2010 (mil/hab.)	População urbana 2010 (mil/hab.)
Capela	30.761	11.019	19.742
Divina Pastora	4.326	2.227	2.099
Japaratuba	16.864	8.961	7.903
Laranjeiras	26.902	5.645	21.257
Maruim	16.343	4.302	12.041
Nossa Senhora das Dores	24.580	8.553	16.027
Nossa Senhora do Socorro	160.827	5.004	155.823
Rosário do Catete	9.221	2.712	6.509
São Cristóvão	78.864	12.199	66.665
Siriri	8.004	4.823	3.181
Total	376.692	65.445	311.247

Organização: Heleno dos Santos Macedo, 2018.

Porém, conforme a lei, apenas municípios com mais de vinte mil habitantes são obrigados a possuírem um Plano diretor, sendo facultativo para municípios com uma população inferior ao mínimo estabelecido. Nesse contexto, apenas os municípios de Laranjeiras, Nossa Senhora do Socorro e São Cristóvão possuem a obrigação de possuírem tal plano.

Desses Municípios que devem contemplar em seus planos diretores uma preocupação em relação ao uso e ocupação de ambientes cársticos, somente Laranjeiras e Nossa Senhora do Socorro, possuem trechos urbanos sobre áreas cársticas (figura 8.9). A sede do município de São Cristóvão e suas áreas de expansão urbana (conjuntos Rosa Elze e Eduardo Gomes) estão assentados sobre áreas de depósitos fluviais e sobre a Formação Barreiras respectivamente.

Os municípios de Divina Pastora, Maruim e Rosário do Catete, possuem suas sedes municipais sobre áreas cársticas, porém, as mesmas não são obrigadas a possuírem Plano Diretor, o que dificulta a utilização desse instrumento como ferramenta para a gestão desse tipo de ambiente.

Os municípios que compõem o carste tradicional Olhos d'água/Frei Paulo, possuem uma população total de 194.940 habitantes, na sua maioria residentes nas zonas urbanas, com exceção de Campo do Brito e Macambira que possuem a maior parcela da população vivendo na zona rural (tabela 8.2). O crescimento urbano, através da expansão de conjuntos habitacionais, infraestrutura, serviços e comércio, se fez presente nessas últimas décadas nesses municípios, acompanhando uma tendência na maioria dos municípios brasileiros.

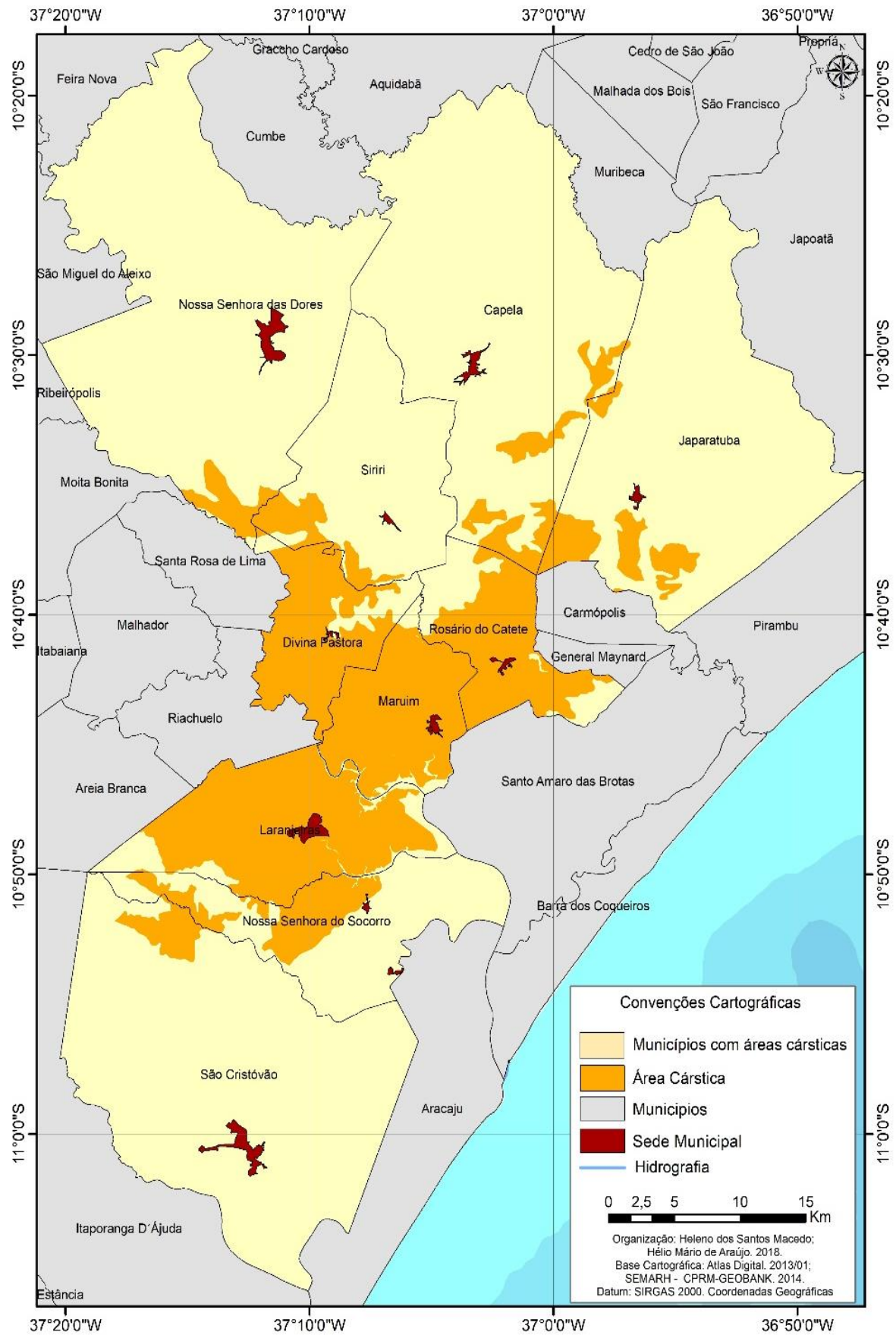
Tabela 8.2 – Total da população no Carste Olhos d'água /Frei Paulo.

Municípios	População total 2010 (mil/hab.)	População rural 2010 (mil/hab.)	População urbana 2010 (mil/hab.)
Campo do Brito	16.749	8.419	8.330
Lagarto	94.861	45.994	48.867
Macambira	6.401	3.338	3.063
Pinhão	5.973	3.133	3.319
Poço Verde	21.983	9.671	12.312
São Domingos	10.271	5.124	5.147
Simão Dias	38.702	18.276	20.426
Total	194.940	93.955	101.464

Organização: Heleno dos Santos Macedo, 2018.

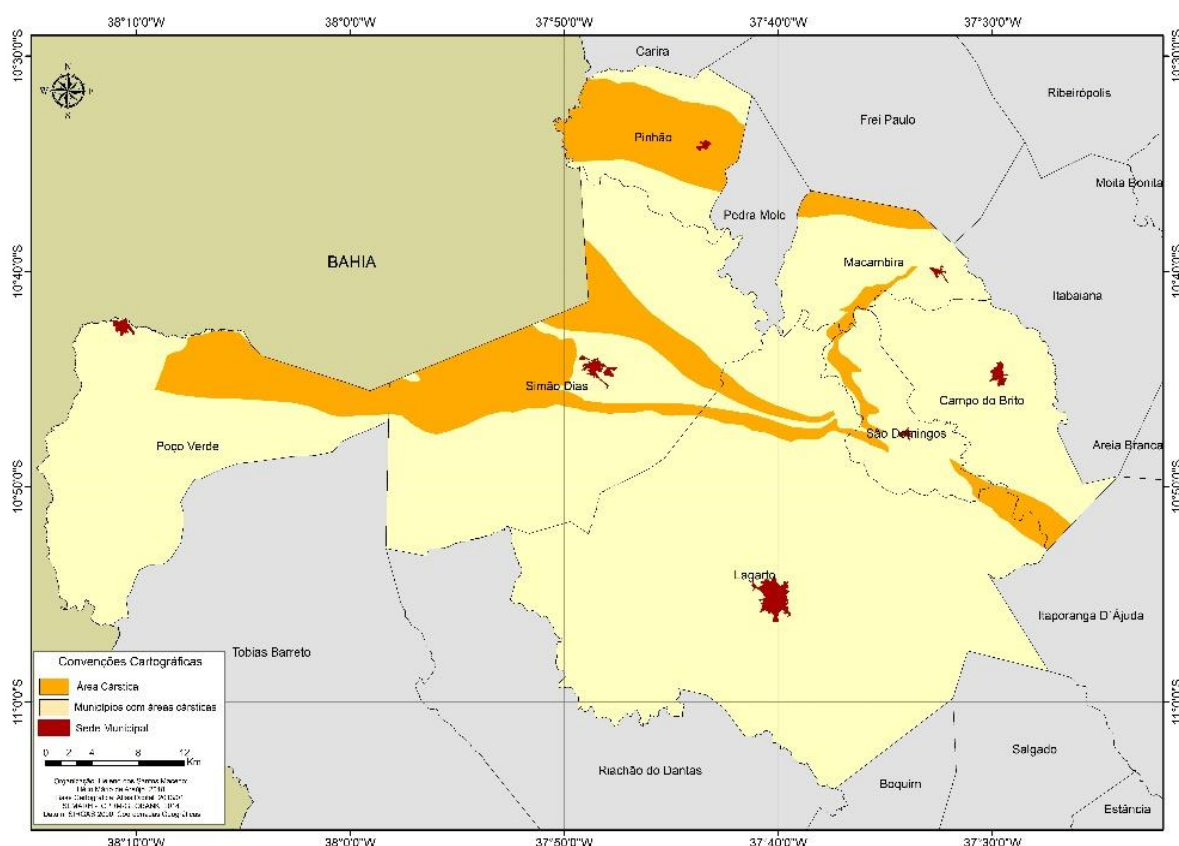
Seguindo a lógica da lei em relação a obrigatoriedade de possuir PD, apenas os municípios de Lagarto e Simão Dias possuem o documento. Somente Simão Dias, possui feições cársticas em sua zona urbana, o que suscita uma preocupação na elaboração de um Plano Diretor que contemple a proteção desse tipo de paisagem (figura 8.10).

Figura 8.9 – Faixas urbanas sobre o Carste Bacia Sergipe.



Elaboração: Heleno dos Santos Macedo, 2018.

Figura 8.10 – Faixas urbanas sobre o Carste Olhos d’água /Frei Paulo.



Elaboração: Heleno dos Santos Macedo, 2018.

O município de Pinhão, que possui a menor população entre os municípios do carste tradicional Olhos d’água/Frei Paulo, porém, é o que possui sua sede totalmente sobre áreas cársticas. Foi identificado no município várias dolinas preenchidas por lixo, e o relato de moradores de antigas cavidades entupidas por sedimentos, ou mesmo, por resíduos de construção civil, ou mesmo dinamitadas, no intuito de facilitar a implementação de atividades agropecuárias.

Todos os municípios assentados sobre as paisagens cársticas de Sergipe, estão em fase de elaboração de seus respectivos PD, mesmo aqueles que não possuem obrigatoriedade em tê-lo. A elaboração de um Plano diretor proporciona ao município obter uma ferramenta de auxílio para o uso e ocupação da terra de forma eficaz e planejado.

Um PD que venha atender as necessidades ambientais de qualquer paisagem, inclusive, paisagens cársticas, precisa contar na sua estrutura algumas preocupações, tais como:

1. Conhecer os domínios naturais dos municípios;
2. Manter a integridade da flora dos municípios
3. Manter a integridade da fauna dos municípios

4. Proporá a criação de Unidade de Conservação – UCs; Unidades de Proteção integral e de uso sustentável;
5. A criação de Zonas especiais de Proteção ambiental;
6. O controle no processo de percolação e infiltração de efluentes;
7. A construção de aterros sanitários para o descarte adequado dos resíduos sólidos.
8. Controlar o número de licenças para implementação de novas indústrias extração mineral;
9. Um plano de urbanização que leve em consideração o grau de vulnerabilidade natural e ambiental do município;
10. A elaboração de um zoneamento ecológico-econômico.

A eficácia de um Plano Diretor não depende apenas do poder público, mas do acompanhamento dos cidadãos que vivem em determinada unidade administrativa. É necessário que a população tenha um papel fiscalizador das ações que contenham no PD, no intuito de perceber se vem sendo realmente efetivadas as leis ou normas. Além disso, é imprescindível que, a medida que a cidade cresce e moderniza, o plano diretor precisa ser revisado, no intuito de atender as novas características de uso e ocupação do solo em decorrência dos avanços do meio técnico-científico-informacional.

8.3 – Áreas de Proteção Ambiental para o Carste de Sergipe

O estabelecimento e o manejo de áreas protegidas são considerados importantes estratégias dos esforços globais para a proteção da biodiversidade (JENKINS & JOPPA, 2009; PRIMACK & RODRIGUES, 2006; UNEP-WCMC, 2008).

Na tentativa de estabelecer certa uniformidade nas nomenclaturas de áreas protegidas com distintas categorias de manejo em termos internacionais, em 1992, a *International Union for Conservation of Nature* (IUCN) desenvolveu uma classificação para as áreas protegidas, que compreende seis diferentes categorias de classificação (IUCN, 1994). Essa classificação passou a ser uma referência para o enquadramento das UCs em todos os países.

No Brasil, as áreas protegidas são contempladas pela Lei Federal 12.651/2012, que dispõe sobre a proteção de vegetação nativa, incluindo as Áreas de Preservação Permanente (APP) e Reservas Legais, e pela Lei Federal nº 9.985/00, que estabelece o Sistema Nacional de Unidades de Conservação (SNUC) com critérios e normas para a criação, implementação,

gestão das Unidades de Conservação (UC) e divide as UCs em dois grupos: de proteção integral e de uso sustentável.

As Áreas de Proteção Ambiental (APAs) fazem parte das UCs de uso sustentável, que correspondem à categoria V da IUCN, que é considerada a categoria de manejo que sofre maior modificação das condições naturais, pois tem sua maior extensão territorial em propriedades privadas (PHILLIPS, 2002).

Neste contexto, as APAs merecem especial atenção devido ao alto grau de interferência por meio das atividades antrópicas nos recursos naturais, pois o que as difere das áreas não protegidas são o estabelecimento do plano de manejo e a gestão da área. Portanto, as APAs sem gestão e sem plano de manejo dificilmente cumprirão com a função de uma UC.

Os planos de manejo das UCs no Brasil têm sido preparados, principalmente, com base em roteiros metodológicos (CHAGAS et. al., 2003; FERREIRA, CASTRO e CARVALHO, 2004; GALANTE, BEZERRA e MENEZES, 2002).

No caso das APAs, o Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA) preparou um específico para esta categoria: o Roteiro Metodológico para Gestão das APAs (RMG-APAs) (MMA, 2001). Atualmente, existem 2201 UC (Federais e Estaduais) deste total apenas 45 (18%) tem planos de manejo (MMA, 2018).

No tocante aos ambientes cársticos, o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza (SNUC) instituído pela Lei nº 9.985/2000, que tem por objetivo, dentre outros, proteger as paisagens naturais e pouco alteradas de notável beleza cênica, proteger as características relevantes de natureza geológica, geomorfológica, espeleológica, arqueológica, paleontológica e cultural, proteger e recuperar recursos hídricos e edáficos, proporcionar meios e incentivos para atividades de pesquisa científica, estudos e monitoramento ambiental, favorecer condições e promover a educação e interpretação ambiental, a recreação em contato com a natureza e o turismo ecológico.

De acordo com PEREIRA, BRILHA e MARTINEZ (2008), algumas categorias do SNUC podem ser consideradas compatíveis com a conservação do Patrimônio Geológico e Espeleológico, ainda que sejam necessárias adequações.

Sabe-se atualmente que 3.533 cavernas (34,85%) estão localizadas em 143 áreas protegidas, sendo 66 de uso sustentável, 68 de proteção integral e 9 terras indígenas. Restringindo-se ao âmbito federal, existem apenas 1.921 cavernas dentro de 40 unidades de conservação, distribuídas em cinco categorias do SNUC (APA, FLONA, RESEX, ESEC e PARNA), o que representa 18,95% das cavernas disponibilizadas pelo CECAV, em dezembro de 2011.

Desse total, cerca de 90% das cavidades se encontram dentro de áreas protegidas de Uso Sustentável (APA, FLONA e RESEX) enquanto 10% localizam-se em áreas de Proteção Integral (ESEC e PARNA), conforme dados do quadro 8.1.

Além disso, constata-se, também, que poucas unidades de conservação foram especialmente criadas, pelo governo federal, com o objetivo de proteger o Patrimônio Espeleológico. Dentre elas destacam-se:

- Grupo das Unidades de Proteção Integral: PARNA de Ubajara/CE, PARNA da Serra da Bodoquena/MS, PARNA da Serra do Cipó/MG, PARNA Cavernas do Peruaçu/MG; e
- Grupo das Unidades de Uso Sustentável: APA Cavernas do Peruaçu/MG, APA Carste de Lagoa Santa/MG, APA Chapada do Araripe/CE, APA Morro da Pedreira/MG, APA Nascentes do Rio Vermelho/GO.

Quadro 8.1 – Cavidades naturais distribuídas em Unidades de Conservação.

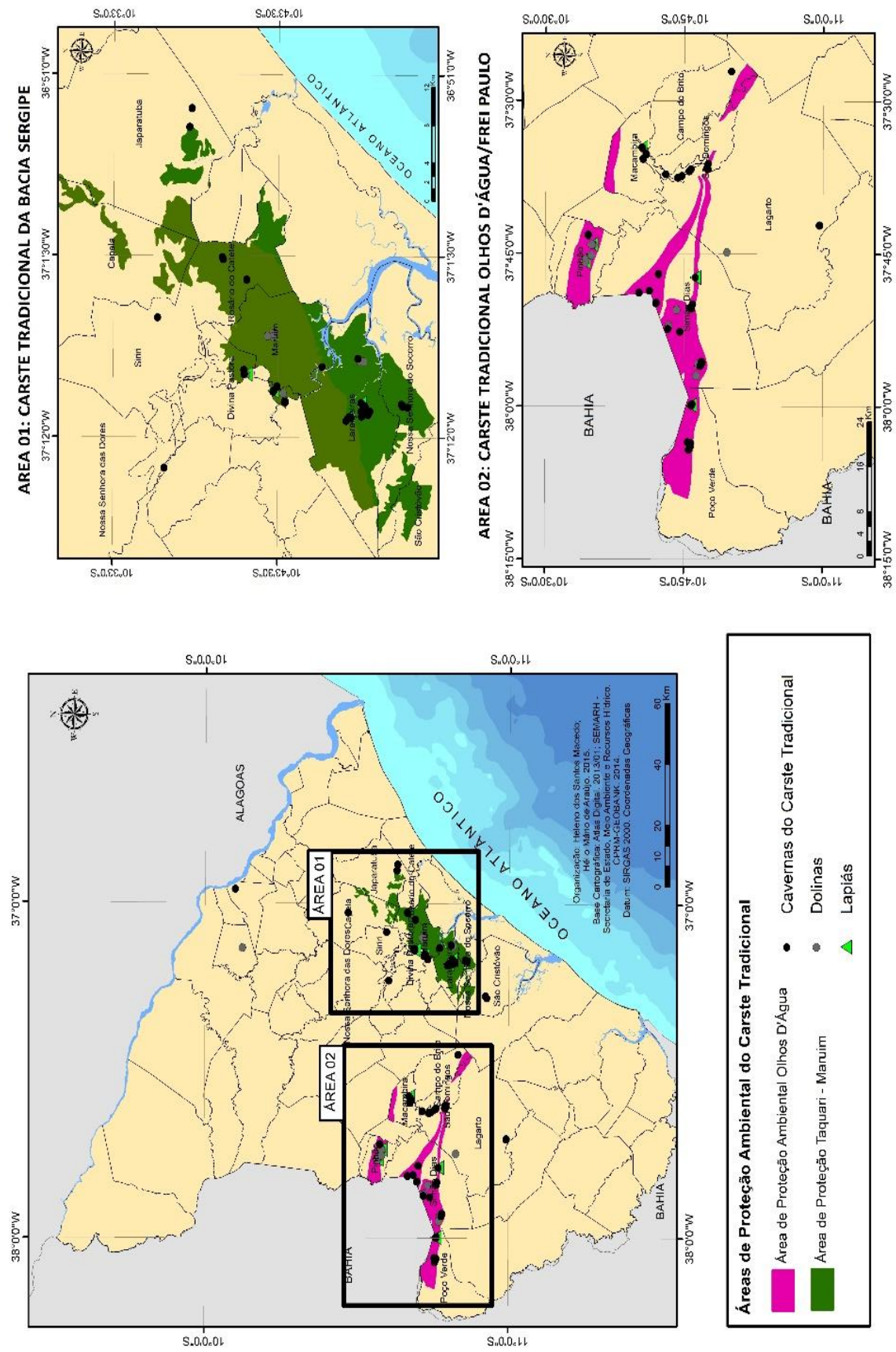
Categoria	Grupo	Quantidade de unidades de conservação federais com cavernas ⁽¹⁾	Quantidade de cavernas dentro de unidades de conservação federais ⁽²⁾
Floresta Nacional (FLONA)	Uso Sustentável	3	1.054
Área de Proteção Ambiental (APA)	Uso Sustentável	11	667
Reserva Extrativista (RESEX)	Uso Sustentável	3	9
Subtotal 1 (Uso Sustentável)		17	1.730
Parque Nacional (PARNA)	Proteção Integral	19	183
Estação Ecológica (ESEC)	Proteção Integral	4	8
Subtotal 2 (Proteção Integral)		23	191
Total		40	1.921

Fonte: CECAV, 2018.

Para Sergipe são propostas duas Áreas de Proteção Ambiental que tem o carste como objeto central. Na faixa correspondente ao carste da Bacia Sergipe é proposta a criação da APA Taquari – Maruim e para o carste Olhos d'água/Frei Paulo a APA Olhos d'água (figura 8.11).

Para a criação das APAs, além da presença das feições cársticas, foram levados em consideração a biodiversidade (fauna e flora), a relevância dos mananciais subterrâneos e o número de nascentes em trechos cobertos por matas secundárias, o comportamento do relevo mediante aos processos erosivos e o uso do solo. A maior parte dos trechos das APAs, encontram em situação de média/alta vulnerabilidade ambiental devido ao uso excessivo do solo feito sem planejamento ao longo de décadas. A proposta de criação das APAs vem justamente mitigar esses processos, para que o meio físico remanescente possa ser utilizado pelos ecossistemas que dependem desses ambientes de forma direta e/ou indireta.

Figura 8.11 – Áreas de Proteção Ambiental do Carste Tradicional Sergipe.



Elaboração: Heleno dos Santos Macedo, 2018.

A APA Taquari – Maruim deverá possuir um território de 370,83 km² sobre os municípios de São Cristóvão, Nossa Senhora do Socorro, Laranjeiras, Maruim, Divina Pastora, Rosário do Catete, Capela e Japarutuba. O uso dos recursos naturais (rochas, água subterrânea, vegetação, minerais) são práticas comuns nesses municípios.

O grau de antropização vem acelerando os processos de degradação ambiental nos municípios que compõem a APA, prejudicando a qualidade do ar, da água, aumentando os problemas de saúde, além de impactos na fauna e flora comprometendo a realização de suas atividades em seus ecossistemas.

A APA Olhos d'água deverá possuir um território de 423,58 km² sobre os municípios de São Domingos, Macambira, Campo do Brito, Pinhão, Simão Dias, Lagarto e Poço Verde. O uso dos recursos naturais (rochas, água subterrânea, vegetação, minerais) são práticas comuns nesses municípios principalmente associados as atividades de agropecuária.

A agropecuária é o fator de maior risco atualmente no processo de antropização, acelerando os processos de degradação ambiental nos municípios que compõem a APA. Porém, esses municípios estão iniciando atividades ligados a mineração, principalmente os municípios de Poço verde e Simão Dias com a exploração do metacalcário para a produção de corretivos para o solo e a extração do mármore para a construção civil.

São necessários estudos mais completos com diagnósticos mais precisos para a formulação das APAs, porém, a presente proposta já identifica algumas medidas que podem ser tomadas para que a APA possa contribuir para a manutenção desses sistemas. Para essas APAs são indicadas as seguintes medidas:

1. Recuperação de áreas degradadas por erosão, abatimentos ou por escorregamentos;
2. Avaliação das disponibilidades hídricas subterrâneas;
3. Sistema geográfico de informação e banco de dados integrando os diversos estudos e levantamentos realizados nas APAs;
4. Inventário completo dos sítios espeleológicos, arqueológicos e paleontológicos;
5. Desenvolvimento de técnicas de manejo florestal que potencializem a diversidade biológica existente;
6. Divulgação dos atributos ambientais do sistema cárstico e dos ecossistemas florestais.
7. Promoção de atividades de interesse ambiental;
8. Suporte logístico, técnico e financeiro, através de parcerias Governo/Setor Privado, para viabilizar os programas ambientais;

9. Inventário completo e banco de dados espeleológicos das APAs, em desenvolvimento pela CPRM;
10. Implantar o banco de idéias tecnológicas de manejo florestal que potencializem a diversidade biológica existente e representem atividades produtivas, perfeitamente integradas aos processos naturais do sistema cárstico; programas de mitigação e correção de incompatibilidades;
11. Banco de dados integrando os diversos estudos e levantamentos realizados para o zoneamento das APAs;
12. Banco de dados com inventário completo da biodiversidade, dos sítios arqueopaleontológicos e constituição de banco genético de flora e fauna das APAs;
13. Dinamização da educação ambiental através do Centro de Referência das APAs;
14. Apoio ao programa de educação ambiental através do Centro de Referência;
15. Saneamento básico, controle de fossas sépticas e recuperação de áreas;
16. Divulgação das APAs, através de eventos promocionais do patrimônio arqueológico/espeleológico e cultural da região;
17. Apoio tecnológico visando orientar a extração e beneficiamento de minerais e rochas;
18. Criar condições técnicas, financeiras e administrativas para a organização dos produtores e beneficiadores.



09. CONSIDERAÇÕES FINAIS

As paisagens cársticas de Sergipe possuem relevância para vários ecossistemas, inclusive, o humano. Dentre os muitos serviços providos pode-se citar o suprimento de água, através de nascentes, reservatórios e aquíferos; polinização e controle biológico, provendo abrigos para, respectivamente, espécies-chave para a reprodução de plantas (caso dos morcegos nectarívoros/polinívoros) e para predadores importantes de insetos (sobretudo morcegos insetívoros); refúgio de espécies ameaçadas de extinção; recreação e cultura, por seu valor científico, estético, artístico e educacional, proporcionando oportunidades de turismo de natureza, esportes de aventura.

As feições cársticas sergipanas apresentam incipiência em relação ao desenvolvimento das suas feições se comparado com outras províncias cársticas do Brasil. Porém, algumas características tornam o carste sergipano único e, por isso, suscita a realização de pesquisas que venham trazer ao público informações sobre esse tipo de modelado.

Foram identificadas sessenta e uma novas cavernas, mais de cinquenta dolinas, campos de lapiás, sumidouros e ressurgências, polje e tipos diferentes de espeleotemas, tais como helectites, estalactites tradicionais e do tipo “canudinho de fresco”, estalagmites, cortinas do tipo bacon, entre outros.

Do ponto de vista do uso, as paisagens cársticas têm grande valor estético e econômico, à medida que sustentam atividades de turismo e outros aspectos do lazer. Tais atividades podem representar um ativo importante para a economia de certas regiões ou mesmo países.

Em Sergipe, áreas cársticas são exploradas para a fabricação do cimento, além da extração de blocos de calcário utilizados na construção civil. O município de Laranjeiras, que tem uma das principais províncias espeleológicas do estado, já possuiu três unidades de produção de cimento, fazendo de Sergipe um dos maiores vendedores desse produto no final da década de 1990 e primeiros anos do século XXI.

Porém, o principal uso do solo é realizado pelas práticas de agropecuária, com destaque para as culturas da cana-de-açúcar (no carste Bacia Sergipe), produção de milho e feijão (carste Olhos D'Água/Frei Paulo) além da pecuária extensiva.

As paisagens cársticas necessitam de ações de intervenção para garantir sua dinâmica, mitigar os impactos causados pelo uso e ocupação desordenada, levando em consideração a sua fragilidade natural.

O grau de vulnerabilidade natural e ambiental das paisagens cársticas sergipanas foi semelhante para as duas áreas. O carste Bacia Sergipe possui 52,3% de sua área, que corresponde a 130.206, 603 ha (cento e trinta mil, duzentos e seis e seiscentos e três hectares), em situação de alta vulnerabilidade natural; e 18,2 % que corresponde a 45.310,902 ha (quarenta e cinco mil, trezentos e dez e novecentos e dois hectares) em situação de muito alta vulnerabilidade natural. Quanto a vulnerabilidade ambiental, 61,8% do carste Bacia Sergipe, que corresponde a 153.857,818 ha (cento e cinquenta e três mil, oitocentos e cinquenta sete e oitocentos e dezoito hectares), é considerado como alta vulnerabilidade e possui elevados índices de morfogênese, comprometendo assim, o seu funcionamento.

O carste Olhos D'Água/Frei Paulo possui a maior parcela da sua área – 39,7% que corresponde a 101.522,825 ha (cento e um mil, quinhentos e vinte e dois e oitocentos e vinte e cinco hectares) – em situação de muito alta vulnerabilidade natural; e 28,5 % ou 72.881,625 ha (setenta e dois mil, oitocentos e oitenta e um e seiscentos e vinte e cinco hectares) em situação de alta vulnerabilidade natural. Quanto a vulnerabilidade ambiental, 42,7% do carste Olhos D'Água/Frei Paulo, que corresponde a 109.194,575 ha (cento e cinquenta e três mil, oitocentos e cinquenta sete e oitocentos e dezoito hectares), é considerado como muito alta vulnerabilidade e possui elevados índices de morfogênese, comprometendo assim, o seu funcionamento.

Essa situação coloca em risco a existência de feições cársticas nas próximas décadas ou mesmo anos. A real possibilidade de suprimição das feições do exocarste e endocarste motivou a proposição de medidas que, se aplicadas, podem proteger o carste sergipano. São elas: Zoneamento Ambiental; sugestão para implementação, nos Planos Diretores, de leis que auxiliem a proteção e conservação do patrimônio cárstico; sugestão para criação de duas Unidades de Conservação; uso do KDI e do grau de relevância do CECAV para avaliar os impactos sofridos pelo patrimônio espeleológico; e criação de uma proposta de Planejamento e Gestão de Paisagens Cársticas, o PGPAC.

No Zoneamento Ambiental foram propostas cinco zonas para o carste sergipano: Zonas de Uso Possível para Agropecuária (ZUPA); Zonas de Proteção das Paisagens Cársticas (ZPPC); Zonas de Conservação das Paisagens Cársticas (ZCPC); Zonas de Conservação e Desenvolvimento Urbano (ZCDU) e as Zonas de Uso para Mineração e Indústria (ZUMI).

No geral são áreas que já possuem práticas que envolvem a agropecuária, atividade industrial, mineração, trechos urbanos, e precisam ser estabelecidos critérios para que o desenvolvimento das atividades socioeconômicas não venham ampliar os impactos sobre as paisagens cársticas. São observados também nessas zonas alguns trechos com características pedológicas de susceptibilidade a erosão, onde precisam ser revistas as formas de manejo para que não agridam diretamente as características físicas e de funcionamento dos solos.

O Plano diretor, de acordo com a Constituição Federal, é o instrumento básico da política de desenvolvimento e de expansão urbana, obrigatório para as cidades com mais de vinte mil habitantes e, a contrário senso, facultativo para as demais. Os municípios que compõem o carste tradicional da Bacia Sergipe, possui uma população total de 376.692 habitantes. Com exceção de Divina Pastora, Japarutuba e Siriri, os demais municípios possuem a maior parte da sua população na zona urbana.

Todos os municípios assentados sobre as paisagens cársticas de Sergipe, estão em fase de elaboração de seus respectivos PD, mesmo aqueles que não possuem obrigatoriedade em tê-lo. A elaboração de um Plano diretor proporciona ao município obter uma ferramenta de auxílio para o uso e ocupação da terra de forma eficaz e planejado. Um plano diretor que venha atender as necessidades ambientais de qualquer paisagem, inclusive, as cársticas, precisa conter em sua estrutura algumas preocupações, tais como: conhecimento dos domínios naturais dos municípios; manutenção da integridade da flora e da fauna; criação de Unidade de Conservação – UCs; criação de Zonas especiais de Proteção ambiental, entre outras medidas.

A eficácia de um Plano Diretor não depende apenas do poder público, mas do acompanhamento dos cidadãos que vivem em determinada unidade administrativa. É necessário que a população tenha um papel fiscalizador das ações que contenham no PD, no intuito de perceber a efetividade das leis e/ou normas.

Um dos instrumentos sugeridos como viáveis para a manutenção das feições cársticas sergipanas foi a criação de duas áreas de proteção ambiental: a criação da APA Taquari – Maruim e para o carste Olhos d'água/Frei Paulo a APA Olhos d'água.

A APA Taquari – Maruim possuiria um território de 370,83 km² sobre os municípios de São Cristóvão, Nossa Senhora do Socorro, Laranjeiras, Maruim, Divina Pastora, Rosário do Catete, Capela e Japarutuba. O uso dos recursos naturais (rochas, água subterrânea, vegetação, minerais) são práticas comuns nesses municípios. O grau de antropização vem acelerando os processos de degradação ambiental nos municípios que compõem a APA, prejudicando a qualidade do ar, da água, aumentando os problemas de saúde, além de impactos na fauna e flora comprometendo a realização de suas atividades em seus ecossistemas.

Já a APA Olhos d'água possuiria um território de 423,58 km² sobre os municípios de São Domingos, Macambira, Campo do Brito, Pinhão, Simão Dias, Lagarto e Poço Verde. O uso dos recursos naturais (rochas, água subterrânea, vegetação, minerais) são práticas comuns nesses municípios principalmente associados as atividades de agropecuária. A agropecuária é o fator que mais ocasiona riscos, acelerando os processos de degradação ambiental nos municípios que compõem a APA. Esses municípios estão iniciando atividades ligados a mineração, principalmente os municípios de Poço verde e Simão Dias com a exploração do

metacalcário para a produção de corretivos para o solo e a extração do mármore para a construção civil.

Outra proposta aplicada para o carste sergipano foi KDI (*Karst Disturbance Index*) metodologia proposta por Van Beynen e Townsend (2005), na qual tem por objetivo criar um índice que mede os fatores de perturbação no carste, levando em consideração o grau de interferência antrópica, podendo demonstrar, através dos resultados, as consequências/eficácias do gerenciamento em ambientes dessa natureza. Seguindo tal metodologia, o carste da Bacia Sergipe foi classificado como de baixo impacto (pontuação de 0,38).

Mesmo apresentado indicações de uso do solo incompatível com as características naturais do sistema cárstico, no contexto geral, o carste da Bacia Sergipe possui processos de antropização de baixa relevância, decorrente do tamanho das cavidades, do número reduzido de feições do exocarste, e da dificuldade de acesso a maioria dessas feições. O valor de LD para o carste Bacia Sergipe foi de 0,2 indicando que o método KDI atingiu o esperado na avaliação da área.

A classificação dos impactos sobre a paisagem cárstica Olhos d'água /Frei Paulo, foi de baixo impacto (pontuação de 0,31), decorrente do tamanho das cavidades, da dificuldade de acesso, e do número reduzido de feições do exocarste. O valor de LD para esse carste foi de 0,2 indicando que o método KDI atingiu o esperado na avaliação da área.

O instrumento criado pelo CECAV que mensura o grau de relevância também foi aplicado na área, porém os resultados obtidos não foram compatíveis com a relevância das cavidades naturais de Sergipe, devido as suas características de dimensão e fauna. Usando os critérios desse instrumento, o grau de relevância do carste sergipano é considerado baixo, ou seja, a maior parte das cavidades naturais poderiam ser suprimidas.

Essa inconsistência ocorre porque a escolha dos indicadores utilizados, que no caso de Sergipe, não são encontrados devido ao grau de desenvolvimento (morfológico) incipiente, e por esse motivo a maior parte deles são classificados como ausentes.

Porém, as cavidades possuem relevância em várias escalas e para fins diferentes. As cavernas sergipanas podem não possuir espeleotemas relevantes, drenagem subterrânea, projeções horizontais e verticais como os grandes sistemas de cavernas da Bahia e de Minas Gerais. Mas elas são possuidoras de uma diversidade faunística peculiar e única.

Portanto, não é indicado para Sergipe o uso do grau de relevância proposto pelo Decreto Nº 6.640/2008, bem como, se faz necessário, em escala nacional, uma revisão desse decreto afim de impedir que pequenas cavidades possam ser suprimidas, comprometendo a biotasia de ecossistemas nas mais variadas escalas de análise.

Foi então criado e testado um instrumento para a gestão de paisagens cársticas, o PGPAC (Plano de Gestão de Paisagens Cársticas). Essa metodologia para Planejamento e Gestão de Paisagens Cársticas (PGPAC) se baseia na proposta de Brilha e Uceda que atentam para a necessidade de se criar estratégias de Geoconservação para áreas que apresentem uma relevância para o patrimônio geológico, sendo adaptado para as necessidades de estudos em morfologias cársticas.

A Geoconservação consiste na proteção do patrimônio geológico promovendo, simultaneamente, o uso racional deste componente não vivo do patrimônio natural. O patrimônio geológico vem recentemente, ganhando reconhecimento do seu valor, interesse e vulnerabilidade. A partir do cruzamento de três indicadores: critérios intrínsecos (A), critérios relacionados com o potencial (B) e critérios relacionados com a necessidade de proteção (C), conclui-se que o carste Bacia Sergipe e Olhos d'água/Frei Paulo podem ser enquadrados na classificação de média relevância, exigindo cuidados no processo de uso e ocupação do solo e o direito a manutenção do patrimônio espeleológico.

Essa metodologia atende melhor os casos onde os fatores morfogenéticos, morfoestruturais e morfodinâmicos não permitiram o desenvolvimento de grandes sistemas cársticos, como é o caso de Sergipe. Outro ponto importante a ser mencionado é que, essa metodologia enfatiza a pesquisa e a relação da sociedade com as feições cársticas, mesmo que essa relação não seja direta.

Por fim, é necessário a preocupação com a integridade das áreas cársticas em Sergipe em vista dos seus valores naturais, culturais, científicos, pois, a partir do momento que a sociedade conhece a relevância dessas áreas, entende a necessidade de conservá-las, garantindo assim, o bom funcionamento dos ecossistemas relacionados a esses ambientes.

REFERÊNCIAS

- AB'SABER, A. N. Regiões de Circundesnudação Pós-Cretáceos no Planalto Brasileiro. **Boletim Paulista de Geografia**, v.1, p. 1-21, 1949.
- AB'SABER, A. N. Posição das Superfícies Aplainadas no Planalto Brasileiro. **Geomorfologia**, v.20, p. 10- 22, 1960.
- AB'SABER, A. N. Participação das Depressões e Superfícies Aplainadas na Compartimentação do Planalto Brasileiro. **Geomorfologia**, v.28, 20 p., 1962.
- AB'SÁBER, A. N. Um conceito de geomorfologia a serviço das pesquisas sobre o Quaternário. **Geomorfologia**, São Paulo, n. 18, 15 p. 1969.
- AB'SÁBER, A. N. Megageomorfologia do Território Brasileiro. In: CUNHA, S. B.; GUERRA, A. J. T. (Org.). **Geomorfologia do Brasil**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1998.
- AB'SABER, A. N. **Os Domínios de Natureza no Brasil: potencialidades paisagísticas**. São Paulo: Ateliê Editorial, 2003.
- ALKMIM, F. F. et. al. Arcabouço tectônico do Cráton do São Francisco: uma revisão. In: DOMINGUEZ, J. M. L.; MISI, A. (ed.). **O Cráton do São Francisco**. SBG: Núcleo BA/SE, 1993.
- ALMEIDA, F. F. M. **Origem e evolução da Plataforma Brasileira**. DNPM/DGM, Boletim. Rio de Janeiro, 1967.
- ALMEIDA, F. F. M. et. al. As províncias estruturais do Brasil. In: VIII SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO NORDESTE, Campina Grande, 1977. **Anais...** Campina Grande: SBG, 1977.
- ANDERSON, V.; JOHNSON, L. **Systems thinking basics: from concepts to causal loops**. Cambridge: Pegasus Communications, 1997.
- ANDRADE, G. O. **Itamaracá: contribuição para o estudo geomorfológico da costa pernambucana**. Recife: Imprensa Oficial, 1955.
- APAÉSTEGUI, J. et al. Hydroclimate variability of the South American Monsoon System during the last 1600 yr inferred from speleothem isotope records of the north-eastern Andes foothills in Peru. **Climate of the Past Discussions**, v. 10, n. 1, p. 533–561, 2014.
- AQUINO, G. S. et. al. Sugarcane straw management and its impact on production and development of ratoons. **Industrial Crops and Products**. v. 102, p. 58–64, 2017.
- ARAÚJO, H. M. A bacia hidrográfica como unidade geográfica de planejamento e gestão ambiental. In: ARAÚJO, H. M.; SANTOS, N. D. (org.). **Temas de Geografia Contemporânea: teoria, método e aplicações**. São Cristóvão: Editora UFS, 2010.
- ARAÚJO, H. M. **Relações Socioambientais na Bacia Costeira do Rio Sergipe**. 2007. Tese (Doutorado em Geografia) – Núcleo de Pós Graduação em Geografia, Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão.

ASSIS, T. A. et al. Geometria fractal: propriedades e características de fractais ideais. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 30, n. 2, 2008.

BARBOSA, C. C. F. **Álgebra de mapas e suas aplicações em Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento**. 1997. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Programa de Pós-graduação em Sensoriamento Remoto, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São Paulo.

BARBOSA, J. S. F.; DOMINGUEZ, J. M. L. **Texto Explicativo para o Mapa Geológico da Bahia ao Milionésimo**. Salvador: SICM/SGM – Edição especial, 1996.

BARRETO, E. A. S. **Reconstituição da Paleoprecipitação no sul do Nordeste Brasileiro durante os dois últimos Ciclos Glaciais a partir da aplicação de Registros Isotópicos de oxigênio de estalagmites da Chapada Diamantina (Bahia)**. 2016. Tese (Doutorado em Geociências) - Programa de Pós-Graduação em Geoquímica e Geotectônica, Universidade de São Paulo, São Paulo.

BERTALANFFY, L. V. **Teoria dos Sistemas**. Rio de Janeiro: Fundação Getúlio Vargas, 1976.

BERTO NETO, J. **Medidas da emissão de gases em oito aterros de resíduos sólidos urbanos do Estado de São Paulo – Brasil**. 2009. Tese (Doutorado em Ciências da Engenharia Ambiental) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos.

BERTRAND, G. Paisagem e Geografia Física Global: esboço metodológico. **Cadernos de Ciências da Terra**, São Paulo, n. 13, p. 1-27, 1972.

BESSE, Jean-Marc. **Ver a terra: seis ensaios sobre a paisagem e a geografia**. Tradução Vladimir Bartalini. São Paulo: Perspectiva, 2006.

BEZERRA, F. H. R. **Geologia e evolução petrológica do Complexo gabróico Canindé do São Francisco e rochas adjacentes (Sergipe e Alagoas)**. 1992. Dissertação (Mestrado em Geociências) – Universidade de Brasília, Instituto de Geociências, Brasília.

BIGARELLA, J. J. et. al. **Estrutura e Origem das Paisagens Tropicais e Subtropicais**. 2. ed. Florianópolis: Editora da UFSC, 2007.

BIGARELLA, J. J.; ANDRADE, G. O. Considerações sobre a estratigrafia dos sedimentos cenozoicos em Pernambuco (Grupo Barreiras). **Arquivo Instituto Ciências da Terra**, Recife, n. 2, p. 2-14, 1964.

BIRD, B.W. et. al. A 2,300-year-long annually resolved record of the South American summer monsoon from the Peruvian Andes. **PNAS**, n. 108, p. 8583-8588, 2011.

BITTENCOURT, A. C. S. P. et al. Evolução Paleogeográfica Quaternária da Costa do Estado de Sergipe e Costa Sul do Estado de Alagoas. **Revista Brasileira de Geociências**, v.13, p. 93-97, 1983.

BLAUT, J. Imperialismo: A teoria marxista e sua evolução. **Antipode**, n. 7, p. 1–19, 1975.

BOLÓS, M. I. C. Problemática actual de los estudios de paisaje integrado. **Revista de Geografia**, Barcelona, v. 15, n. 2, p. 45-68, 1981.

BOLÓS Y CAPDEVILA, M. El geosistema, modelo teórico del paisaje. In: BOLÓS Y CAPDEVILA, M. et. al. **Manual de ciência del paisaje: teoria, métodos y aplicaciones**. Barcelona: Masson, 1992.

BOLLMANN, H. A.; GASPARIN, D. C.; DUARTE, F. Restrição Ambiental ou Oportunidade para o Desenvolvimento Sustentável? Aquífero Carste na Região Metropolitana de Curitiba. **Caderno Metropolitano**, São Paulo, v. 15, n. 30, p. 645-665, 2013.

BOMFIM, L. F. C. et al. Projeto Cadastro da Infraestrutura Hídrica do Nordeste: estado de Sergipe. **Diagnóstico do Município de Poço Verde**. Aracaju: CPRM, 2002

BONACCI, O. **Karst hydrology with special reference to Dinaric karst**. Berlim: Springer Verlag, 1987.

BONACCI, O. Hazards caused by natural and anthropogenic changes of catchment area in karst. **Natural Hazards and Earth System Sciences**, n. 4, p. 655–661, 2004.

BORMAN, S. Researchers find order, beauty in chaotic chemical systems. **Chemical & Engineering News**, v. 69, n. 21, p. 18-20, 1991.

BRADLEY, R. S.; HUGHES, M. K. e DIAZ, H. F. Climate in medieval time. **Science**, v. 302, p. 404–405, 2003.

BRASIL. **Código Florestal**. Lei nº 12.651, 2012.

BRASIL. **Criação de Área de Proteção Ambiental no Estado de Minas Gerais**. Decreto nº 98.881, 1990.

BRASIL. **Estações Ecológicas e Áreas de Proteção Ambiental**. Lei nº 6.902, 1981.

BRASIL. **Diretrizes Gerais da Política Urbana**. Lei nº 10.257, 2001.

BRASIL. **Política Nacional de Meio Ambiente**. Lei nº 6.938/81, 1981.

BRASIL. **Proteção das cavidades naturais subterrâneas existentes no território nacional**. Decretos nº 99.556, 1990; nº 6.640, 2008.

BRASIL. **Sistema Nacional de Unidades de Conservação**. Lei nº 9.985, 2000.

BRILHA, J. **Património Geológico e Geoconservação: a conservação da Natureza na sua vertente geológica**. Braga: Palimage Editores, 2005.

BRITO, M. C.; FERREIRA, C. C. M. Paisagem e as diferentes abordagens geográficas. **Revista Geografia**, Juiz de Fora, v. 2, n.1, p. 1-10, 2011.

BRITO NEVES, B. B. **Regionalização geotectônica do Precambriano nordestino**. 1975. Tese (Doutorado em Geociências) - Universidade de São Paulo, Instituto de Geociências, São Paulo.

BRITO NEVES, B. B. et. al. Vergência centrifuga residual no sistema de dobramentos sergipano. **Revista Brasileira de Geociências**, n. 7, p. 102-114, 1977.

BRITO NEVES, B. B. et. al. O evento de magmatismo de 1,0 Ga nas faixas moveis ao norte do Cráton São Francisco. In: II SIMPÓSIO CRATON SÃO FRANCISCO, 1993, Salvador, **Anais...** Salvador, SBG-SGM, p.243-245, 1993.

BRUNSDEN, D.; THORNES, J.B. Landscape Sensitivity and Change. **Translates of the Institute of British Geographers**, v. NS4, p. 463-484, 1979.

BURDON, D. J.; PAPAKIS, N. **Handbook of Karst Hydrogeology**. Institute for Geology and Subsurface Research/FAC, 1963.

CABRAL, L. O. Revisitando as noções de espaço, lugar, paisagem e território, sob uma perspectiva geográfica. **Revista de Ciências Humanas**, Florianópolis, v. 41, n. 1 e 2, p. 141-155, 2007.

CADAVID GARCÍA, E. A. **Zoneamento agro ecológico e socioeconômico da bacia hidrográfica brasileira do Rio Paraguai: uma abordagem numérica preliminar**. Corumbá: Embrapa, 1991.

CAJAZEIRAS, M. O. **Impactos e Conflitos socioambientais na comunidade do entorno da Fábrica de Cimento do município de Nossa Senhora do Socorro/SE**. 2011. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente) – Programa Regional de Desenvolvimento e Meio Ambiente, Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão.

CAMARGO, L. H. R. **A Ruptura do Meio Ambiente**: conhecendo as mudanças ambientais do planeta através de uma nova percepção da ciência, a geografia da complexidade. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2008.

CAMPBELL, D. F. Estado de Sergipe. In: BRASIL. **Conselho Nacional do Petróleo**. Relatório de 1946. Rio de Janeiro, 1948, p. 135-147.

CAPRA, F. **A Teia da Vida: uma nova compreensão científica dos sistemas vivos**. Tradução: Newton Roberval Eichenberg. São Paulo: Editora Cultrix, 1996.

CARVALHO JUNIOR, O. A. et. al. Ambientes Cársticos. In: FLORENZANO, T. G. (org.) **Geomorfologia: conceitos e tecnologias atuais**. São Paulo: Oficina de Textos, 2008.

CASSETI, Valter. **Geomorfologia**, 2005. Disponível em: <<http://www.funape.org.br/geomorfologia/>>. Acesso em: 04/11/2017.

CASTRO, G. S. et. al. Management impacts on soil organic matter of tropical soils. **Vadose Zone Journal**, v. 14, n. 1, p. 1-8, 2015.

CASTRO, I. E. Paisagem e turismo: de estética, nostalgia e política. In: YÁZIGI, E. (org.). **Paisagem e Turismo**. São Paulo: Contexto, 2005.

CAVALCANTI, A. P. B. Abordagens Geográficas no estudo da Paisagem. **Revista Breves Contribuciones del I.E.G.**, San Miguel de Tucumán, n. 22, p. 57-74, 2011.

CAVALCANTI, L. C. S. **Cartografia de Paisagens: fundamentos**. São Paulo: Oficina de Textos 2014.

CECAV. **Províncias Espeleológicas do Brasil**. Brasília. 2009. Disponível em: <www.icmbio.gov.br/cecav>.

CECAV. **Mapa de potencialidade de ocorrência de cavernas**. Brasília. 2009. Disponível em: <www.icmbio.gov.br/cecav>.

CENDRERO, A. Uma ferramenta para a avaliação e monitoramento de unidades de mapa geoambientais: os índices de qualidade ambiental. In: V SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CARTOGRAFIA GEOTÉCNICA E GEOAMBIENTAL, 2004, São Carlos. **Anais...** 2004.

CHAGAS, A. L. G. A. et. al. **Roteiro metodológico para a elaboração de planos de manejo para florestas nacionais**. Brasília: IBAMA, 2003.

CHAGAS, L. S. **Tectono-sedimentação das bacias do tipo Rifte: aplicação na porção emersa da Bacia de Sergipe-Alagoas**. 1996. Dissertação (Mestrado em Geociências) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

CHAGAS, L. S. et. al. **Evolução Tectono-sedimentar da rift da Bacia Sergipe/Alagoas e novas perspectivas exploratórias**. Salvador: Petrobrás/DEPEX/DENEST, 1993.

CHENG, H. et al. Improvements in ^{230}Th dating, ^{230}Th and ^{234}U half-life values, and U–Th isotopic measurements by multi-collector inductively coupled plasma mass spectrometry. **Earth and Planetary Science Letters**, v. 371-372, p. 8291, 2013.

CHIAVENATO, I. **Introdução à teoria geral da administração**. Rio de Janeiro: Campus, 2000.

CHIOSSI, N. **Geologia de Engenharia**. 3. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2013.

CHRISTOFOLETTI, A. **Análise de sistemas em geografia**. São Paulo: Hucitec, 1979.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**. 2. ed. São Paulo: Edgard Blucher, 1980.

CHRISTOFOLETTI, A. **Modelagem de Sistemas Ambientais**. São Paulo: Edgard Blücher, 1999.

CHRISTOFOLETTI, A. L. H. Sistemas Dinâmicos: as abordagens da Teoria do Caos e da Geometria Fractal em Geografia. In: VITTE, A. C.; GUERRA, A. J. T. (org.). **Reflexões sobre a Geografia Física no Brasil**. 7. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2014.

CLAGUE, J. J. et al. Nomenclature and resolution in Holocene glacial chronologies. **Quaternary Science Reviews**, v. 28, p. 2231-2238, 2009

CONAMA. **Legislação: política nacional de meio ambiente**. Brasília: SEMA, 1988

CONNEY, P. J. et al. Cordilleran suspect terranes. **Nature**, n. 288, p. 33-329, 1980.

CONTI, J. B. Resgatando a “Fisiologia da Paisagem”. **Revista do Departamento de Geografia**, São Paulo, n. 14, p. 59-68, 2001.

CORRÊA, R. L.; ROZENDAHL, Z. Apresentando leituras sobre paisagem, tempo e cultura. In: CORRÊA, R. L.; ROZENDAHL, Z. (orgs.). **Paisagem, Tempo e Cultura**. Rio de Janeiro: Eduerj, 1998.

CORRÊA, R. L. **Região e Organização Espacial**. 7. ed. São Paulo: Ática, 2000.

COSTA, F. H. S. et al. Determinação da Vulnerabilidade Ambiental da Bacia Potiguar, região de Macau (RN), utilizando sistemas de informações geográficas. **Revista Brasileira de Cartografia**. Rio de Janeiro, v. 2, n. 58, p. 27-119, 2006.

COSTA NETO, A. A. Paisagem Expandidas - Correlações entre Geografia e Artes. **Revista Interdisciplinar Internacional de Artes Visuais**. Curitiba, v. 4, n.01, p. 13 -26, 2017.

CPRM. **Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil: Mapa Geológico do Estado de Sergipe**, Brasília: CPRM, 2007.

CREPANI, E. et. al. **Curso de Sensoriamento Remoto Aplicado ao Zoneamento Ecológico-Econômico**. São José dos Campos: INPE, 1996.

CREPANI, E. et. al. **Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento aplicados ao zoneamento ecológico econômico e ao ordenamento territorial**. São José dos Campos: Instituto de Pesquisas Espaciais – INPE, 2001.

CRUZ, F. W. et al. Insolation-driven changes in atmospheric circulation over the past 116,000 years in subtropical Brazil. **Nature**, p. 63-434, 2005.

CRUZ, F. W. et al. Reconstruction of regional atmosphere circulation features during the late Pleistocene in subtropical Brazil from oxygen isotope composition of speleothems. **Earth and Planetary Science Letters**, 248, p. 494-506, 2006.

CRUZ, F. W. et al. Orbitally driven east-west antiphasing of South American precipitation. **Nature Geoscience**, n. 2, p. 210-214, 2009.

CUNHA, T. B. et. al. Mapeamento e Tipologia dos Conflitos pela Gestão e Controle das Águas no Estado da Paraíba. **Boletim de Geografia Maringá**, n. 2, v. 30, p. 31- 45. 2012.

DAFT, R. L.; LENGEL, R. H. O desafio do caos. In: CUNHA, M. P. et al (org.). **Empresas, Caos e Complexidade**. Lisboa: RH, 2001.

DAUPHINÉ, A. **Chaos, Fractales et Dynamiques em Geographie**. France: Reclus, 1995.

DAVIES, P. **O enigma do tempo**. Rio de Janeiro: Ediouro, 1999.

DAVISON, I.; SANTOS, R. A. Tectonic Evolution of the Sergipano Fold Belt, NE Brazil, during the Brasiliano Orogeny. **Precambrian Research**, n. 45, p. 319-342, 1989.

DEMENOCAL, P. et al. Abrupt onset and termination of the African Humid Period: rapid climate responses to gradual insolation forcing. **Quaternary Science Reviews**, v. 19, p. 347–361, 2000.

DE NARDIN, D. **Zoneamento Geoambiental no oeste do Rio Grande do Sul: um estudo em bacias hidrográficas**. 2009. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Programa de Pós Graduação em Geografia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Instituto de Geociências, Porto Alegre.

D'EL-REY SILVA, L. J. H. **Tectonic evolution of the southern part of the Sergipano Fold Belt, northeastern Brazil**. 1992. Thesis (PhD) – Royal Holloway University London.

- D'EL-REY SILVA, L. J. H. The evolution of basement gneiss domes of the Sergipano fold belt (NE Brazil) and its importance for the analysis of Proterozoic basins. **J. S. Am. Earth Sci.** n. 8, p. 325-340, 1995.
- DIAS, J. E. et. al. Geoprocessamento aplicado à análise ambiental: o caso do município de Volta Redonda – RJ. In: XAVIER DA SILVA, J.; ZAIDAN, R. T. **Geoprocessamento & Análise Ambiental: aplicações**. 5 ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2011.
- EKDAHL, E. J. et al. Holocene multidecadal- to millennial-scale hydrologic variability on the South American Altiplano. **The Holocene**, v. 18, p. 867–876, 2008.
- EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Ministério da Agricultura e do Abastecimento. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Brasília: 2018. 412 p.
- FALCONER, K. **Fractal Geometry: Mathematical Foundations and Applications**. England: John Wiley & Sons, 1990.
- FEDER, J. Fractals. **Plenum Press**, p. 149-183, 1988.
- FEIJÓ, F. J. Bacias de Sergipe e Alagoas. **Boletim de Geociências Petrobras**, Rio de Janeiro, v. 8, n. 1, p. 149-161, 1994.
- FERREIRA, A. B. H. **Novo Aurélio Século XXI: o dicionário da língua portuguesa**. 3 ed. Rio de Janeiro: Nova Fronteira, 1999.
- FERREIRA, L. M.; CASTRO, R. G.; CARVALHO, S. H. C. C. **Roteiro Metodológico para elaboração de Plano de Manejo para reservas Particulares do Patrimônio Natural**. Brasília: IBAMA, 2004.
- FIELD, M. S. **A lexicon of cave and karst terminology with special reference to environmental karst hydrology**. Washington DC: USEPA, 2002.
- FORD, D.C.; WILLIAMS, P.W. **Karst geomorphology and hidrology**. United Kingdom: Wiley, 2007.
- FOSTER, S. et. al. **Proteção da qualidade da água subterrânea: um guia para empresas de abastecimento de água, órgãos municipais e agências ambientais**. São Paulo: Servemar, 2006.
- FRANCO, E. **Biogeografia do Estado de Sergipe**. Aracaju: EMBRAPA, 1983.
- FRITZ, S. C. et al. Spatial and temporal variation in cores from Lake Titicaca, Bolivia/Peru during the last 13,000 years. **Quaternary International**, v. 158, n. 1, p. 23-29, 2006.
- GALANTE, M. L. V.; BEZERRA, M. M. L.; MENEZES, E. O. **Roteiro metodológico de planejamento: Parque nacional, Reserva Biológica, Estação Ecológica**. Brasília: IBAMA, 2002.
- GAMBARINI, A. **Cavernas do Brasil**. São Paulo: Metalivros, 2012.

GHIGNONE, J. I. **Carta do Setor de Geologia de Superfície à Subcomissão Estratigráfica da DIREX propondo a adoção do termo Supergrupo Bahia em substituição à Série Bahia.** Salvador: Petrobras/RPBA/DIREX/ SERGE, 1967.

GLEICK, J. **Caos: a criação de uma nova Ciência.** Rio de Janeiro: Editora Campus, 1989.

GLEISER, I. **Caos e complexidade.** Rio de Janeiro: Campus, 2002.

GRIGIO, A. M. **Aplicação do sensoriamento remoto e sistemas de informação geográfica na determinação da vulnerabilidade natural e ambiental do município de Guamaré (RN): simulação de risco as atividades da indústria petrolífera.** 2013. Dissertação (Mestrado em Geodinâmica e Geofísica) – Programa de Pós Graduação em Geodinâmica e Geofísica, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal.

GRÜND A. **Die karsthydrographie studien aus Westbosnien.** Geogr. Abhandl. Herausgegeben v. a. Penck, Leipzig-Teubner, 1903.

GUERRA, A. J. T.; MARÇAL, M. S. **Geomorfologia ambiental.** Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2006.

GUERRA, A. T.; GUERRA, A. J. T. **Novo Dicionário geológico-geomorfológico.** Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1997.

GUERRINI, I. A. **Caos e fractais em física aplicada.** Botucatu: Apostila do Departamento de Física e Biofísica – UNESP, 1998.

HARDT, R. **Aspectos da morfologia cárstica da Serra do Calcário, Cocalinho, MT.** 2004. Dissertação (Mestrado em Geociências) – Universidade Estadual Paulista, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, São Paulo.

HARDT, R. Sistema cárstico e impactos antrópicos: considerações sobre manejo. In: SIMPÓSIO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA DO ESTADO DE SÃO PAULO – SIMPGEO, 2008, São Paulo. VIII SEMINÁRIO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA DA UNESP, 2008, Rio Claro. **Anais...** 2008.

HARTT, C. F. **Geology and Physical Geography of Brazil.** Boston: Fields, Osgood & Co., 1870.

HARVEY, D. **Social Justice and the City.** London, Edward Arnold and Baltimore, Johns Hopkins University Press, 1973.

HOLZER, W. Paisagem Imaginário e Identidade: alternativas para o estudo geográfico. In: ROSENDAHL, Z.; CORRÊA, R. L. (orgs). **Manifestações da Cultura no Espaço.** Rio de Janeiro: Eduerj, 1999.

HOWARD, A. D. Geomorphological systems-equilibrium and dynamic. **Am. Jour. Sci.** v. 263, p. 300-312, 1965.

HUMPHREY, F. L.; ALLARD, G. O. **Geologia da área do domo de Itabaiana (SE) e sua relação com a geologia do geossinclinal de Propriá – Um elemento tectônico recém conhecido no Escudo Brasileiro.** Rio de Janeiro, PETROBRAS/CENPES, 1969.

IBGE, Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais. **Manual Técnico de Geomorfologia**. 2. ed. - Rio de Janeiro: IBGE, 2009.

IBGE, Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais. **Manual Técnico de Pedologia**. 2. ed. - Rio de Janeiro: IBGE, 2007.

JANOS, Michel. **Geometria fractal**. Rio de Janeiro: Editora Ciência Moderna, 2008.

JARDIM DE SÁ, E. F. et. al. Esboço da geologia precambriana do extremo oeste Potiguar. In: X SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO NORDESTE, Recife, 1981. **Anais...** Recife, p. 315-317, 1981.

JENKINS, C. N.; JOPPA, L. Expansion of the global terrestrial protected área system. **Biological Conservation**, n. 142, p. 2166–2174, 2009.

KANNER, L.C. et al. High-latitude forcing of the South American Monsoon during the Last Glacial. **Science**, v. 335, p. 570-573, 2012.

KARMANN, I. Ciclo da água: água subterrânea e sua ação geológica. In: TEIXEIRA, W, et. al. (org.). **Decifrando a Terra**. São Paulo: Oficina de Textos, 2003.

KARMANN, I.; SANCHEZ, L. E. Distribuição das rochas carbonáticas e províncias espeológicas no Brasil. **Revista Espeleo-Tema**, v. 13, p. 67-105, 1979.

KARMANN, I.; SANCHEZ, L. E. Speleological Provinces in Brazil. In: CONGRESO INTERNACIONAL DE ESPELEOLOGIA, 1986, Barcelona. **Anais...** v.1, p. 3-151, Barcelona, 1986.

KELLER, A. E.; PINTER, N. **Active Tectonics Earthquakes, Uplift, and Landscape**. New Jersey: Prentice Hall, 1996.

KING, L. G. A geomorfologia do Brasil Oriental. **Revista Brasileira de Geografia**, Rio de Janeiro, v. 18, nº 2, p. 147-265, 1956.

KLEPPE, J.A. et al. Duration and severity of Medieval drought in the Lake Tahoe Basin. **Quaternary Science Reviews**, v. 30, p. 3269-3279, 2011.

KLIMCHOUK, B. A.; FORD, D. C. Types of Karst and Evolution of Hydrogeologic Settings. In: KLIMCHOUK, B. A. et. al. (editors). **Speleogenesis - Evolution of Karst Aquifers**. Huntsville: National Speleological Society, 2000.

KOHLER, H.C. **Geomorfologia cárstica na região de Lagoa Santa**. 1989. Tese (Doutorado em Geografia) – Universidade de São Paulo, São Paulo.

LA BLACHE, Vidal de. **Princípios de Geografia Humana**. 2. ed. Lisboa: Edições Cosmos, 1954.

LADEIRA, F.S.B.; SANTOS, M. Tectonic and Cenozoic Paleosols in Itaqueri's Hill (São Paulo-Brazil): Implications for the Long Term Geomorphological Evolution. **Geomorphology**, v.145, p. 37-62, 2006.

LANA, M. C. Bacia de Sergipe-Alagoas: uma hipótese de evolução tectono-sedimentar. In: GABAGLIA, G. P. Raja; MILANI, E. J. (Coords.) **Origem e evolução de bacias sedimentares**. Rio de Janeiro: Petrobras, 1990.

LANNA, A. E. L. **Gerenciamento de bacia hidrográfica: aspectos conceituais e metodológicos**. Brasília: IBAMA, 1995.

LEGRAND, H. E., 1983. Perspective on karst hydrology. **Journal of Hydrology**, n. 61, p. 343-355, 1983.

LEMOS, R. C.; SANTOS, R. D. **Manual de descrição e coleta de solo no campo**. Campinas: SBCS, 1982.

LEWIN, R. **Complexidade: a vida no limite do caos**. Rio de Janeiro: Rocco, 1994.

LIMA, L. P. **Ordenamento do uso e ocupação do solo na Planície Fluviolagunar do Rio Betume e adjacências**. 2017. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão.

LIU, Z. et al. Simulating the transient evolution and abrupt change of Northern Africa atmosphere–ocean–terrestrial ecosystem in the Holocene. **Quaternary Science Reviews**, v. 26, p. 1818–1837, 2007.

LOPES, M. A Teoria do Caos, 2013. Disponível em: <http://www.astropt.org/2013/10/02/teoria-do-caos-2/>. Acesso em: 4 de nov. 2018.

LORENZ, E. N. **A Essência do Caos**. Brasília: Universidade de Brasília, 1996.

LOWE, D. J. Development of Speleogenetic Ideas in the 20th Century: The Early Modern Approach. In: KLIMCHOUK, B. A. et. al (editors). **Speleogenesis - Evolution of Karst Aquifers**. Huntsville: National Speleological Society, 2000.

LUCKMAN, B.H. The Little Ice Age in the Canadian Rockies. **Geomorphology**, v. 32, p. 357-384, 2000.

MABESOONE, J. M. et. al. Estratigrafia e origem do Grupo Barreiras em Pernambuco, Paraíba e Rio Grande do Norte. **Revista Brasileira de Geociências**, São Paulo, v. 2, n. 3, p. 173-188, 1972.

MACEDO, H. S. **Ordenamento Territorial- Ambiental na Bacia Costeira Caueira/Abaís**. 2014. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Programa de Pós Graduação em Geografia, Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão.

MANDELBROT, B. **Objetos Fractais: forma, acaso e dimensão seguido de panorama da linguagem fractal**. Lisboa: Gradiva, 1998.

MANN, M. E. Little Ice Age. In: MACCRACKEN, M. C.; PERRY, J. S. (eds.). **Encyclopedia of Global Environmental Change**. The Earth system: physical and chemical dimensions of global environmental change. Chichester: John Wiley & Sons, 2002b.

MANN, M. E. Medieval Climatic Optimum. In: MACCRACKEN, M.C.; PERRY, J.S. (eds.). **Encyclopedia of Global Environmental Change**. The Earth system: physical and chemical dimensions of global environmental change. Chichester: John Wiley & Sons, 2002a.

MARENGO, J. A. et. al. **Riscos das mudanças climáticas no Brasil: análise conjunta Brasil - Reino Unido sobre os impactos das mudanças climáticas e do desmatamento na Amazônia**. INPE/Met Office, 2011.

- MONTE, M. B. M. et. al. **Cloreto de potássio – Mina de Taquari-Vassouras**. Comunicação Técnica elaborada para o livro Usina de Beneficiamento de Minérios do Brasil, Centro de Tecnologia Mineral (Cetem), 2002.
- MONTEIRO, C. A. F. **Geossistemas: a história de uma procura**. São Paulo: Contexto, 2001.
- MOREIRA, R. **Para onde vai o pensamento geográfico?** São Paulo: Contexto, 2006.
- MORIN, E. **Introdução ao pensamento complexo**. Lisboa: Instituto Piaget, 1990.
- MOSBLECH, N.A.S. et al. North Atlantic forcing of Amazonian precipitation during the last ice age. **Nature Geoscience**, v. 5, p. 817-820, 2012.
- NAME, L. O conceito de Paisagem na Geografia e sua relação com o conceito de cultura. **Revista GeoTextos**, Salvador, v. 6, n. 2, p. 163-186, 2010.
- NICOD, J. A little contribution to the karst terminology: special or aberrante cases of poljes? **Acta Carsologica**, n. 32(2), p. 29–39, 2003.
- NOVELLO, V. F. et. al. Multidecadal climate variability in Brazil's Nordeste during the last 3000 years based on speleothem isotope records. **Geo. Res. Lett.**, n. 39: L23706, 2012.
- NUSSENZVEIG, A. M. **Complexidade e Caos**. Rio de Janeiro: UFRJ / COPEA, 1999.
- OLIVEIRA, E. P. et. al. Evolution of the Neoproterozoic Sergipano Orogenic Belt, NE Brazil: detrital zircon geochronology and Sm/Nd isotopes on metasedimentary rocks unravel part of the story. In: SIMPÓSIO SOBRE O CRÁTON DO SÃO FRANCISCO, 3, 2005, Salvador. **Anais...** Salvador: SBG, 2005.
- OLIVEIRA, E. P. et. al. Geologic correlation between the Neoproterozoic Sergipano belt (NE Brazil) and the Yaoundé belt (Cameroon, Africa). **Journal of African Earth Sciences**, n. 44, p. 470-478, 2006.
- OLIVEIRA, E. P. et. al. Mesoarchaeon to paleoproterozoic growth of the northern segment of the Itabuna-Salvador-Curaçá orogen, São Francisco Craton, Brazil. In: KUSKY, T. M.; ZHAI, M. G.; XIAO, W. (eds.) **The evolving continents: understanding processes of continental growth**. London, Geological Society of London, Special Publications, 2010.
- OLIVEIRA, E. P.; TARNEY, J. Petrogenesis of the Canindé de São Francisco complex: A major Late Proterozoic gabbroic body in the Sergipe Foldbelt, northeastern Brazil. **Journal of South American Earth Sciences**, 3(2), p. 125-140, 1990.
- OLIVEIRA, F. A. R.; MAILLARD, P. Detecção de formas cársticas a partir de classificação espectral e morfológica de imagens de sensoriamento remoto. In: X SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 2001, Foz do Iguaçu. **Anais...** INPE, 2001.
- OLIVEIRA, L. A. M. **Potássio**. Departamento Nacional de Produção Mineral, DNPM, 2005. Disponível em:
<<http://www.dnpm.gov.br/assets/galeriadocumento/sumariomineral2005/POT%C3%81SSIO%202005rev.doc>> Acesso em: 18 out. 2010
- OLIVEIRA, P. M. C. Sistemas complexos. **Ciência Hoje**, v. 16, n. 92, p. 15-22, 1993.

PARKER, D., STACEY, R. **Caos, administração e economia**. Rio de Janeiro: Instituto Liberal, 1995.

PEREIRA, R. G. F. A.; BRILHA, J.; MARTINEZ, J. E. Proposta de enquadramento da geoconservação na legislação ambiental brasileira. Publicações do Museu e Laboratório Mineralógico e Geológico da Universidade de Coimbra. **Memórias e Notícias**, v. 3, p. 491-499, 2008.

PFEFFER, K.H. Relics of tropical karst features in the Albian of Franconia of the pegnitz region. **Sonderveröffentlichungen der Geologie**, Institut der Universität Köln, n. 41, p.155-172, 1981.

PHELAN, S. E. From chaos to complexity in strategic planning. **Academy of management**, 1995.

PHILLIPS, A. **Management Guidelines for IUCN Category V Protected Areas Protected Landscapes/Seascapes**. IUCN, 2002.

PRADO, L. F. et al. Mid-Holocene climate reconstruction for eastern South America. **Climate of the Past Discussions**, v. 8, p. 5925-5961, 2012.

PRIGOGINE, I.; STENGERS, I. **Entre o tempo e a eternidade**. Tradução: Roberto Leal Ferreira. São Paulo: Companhia das Letras, 1992.

PRIMACK, R.; RODRIGUES, E. **Biologia da Conservação**. Londrina: Planta, 2006.

REUTER, J. et al. A new perspective on the hydroclimate variability in Northern South America during the Little Ice Age. **Geophysical Research Letters**, v. 36, n. L21706, 2009.

RIBEIRO, J. F.; WALTER, B. M. T. As principais fitofisionomias do Bioma Cerrado. In: SANO, S. M.; ALMEIDA, S. P.; RIBEIRO, J. F. **Ecologia e flora**. Brasília: EMBRAPA, 2008.

ROCHA, J. S. M.; KURTZ, S. M. J. M. **Manual de manejo integrado de bacias hidrográficas**. 4. ed. Santa Maria: Edições UFSM, 2001.

RODRIGUES, V. S. **As transformações recentes no espaço urbano de Nossa Senhora do Socorro: uma desconcentração metropolitana**. 2017. Trabalho Final de Graduação – Departamento de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Sergipe, Laranjeiras.

RODRIGUEZ, J. M. M.; SILVA, E. V. A classificação das paisagens a partir de uma visão geossistêmica. **Revista Mercator**, Fortaleza, n. 1, p. 95-112, 2002.

ROSA FILHO, E. F. et. al. **Projeto Carste**. Relatório Conclusivo Final. Instituto Joanneum Research/SANEPAR/SUDERHSA/UFPR/COMEC, 2002.

ROSS, J. L. S. O Relevo Brasileiro, as Superfícies de aplainamento e os Níveis Morfológicos. **Revista do Departamento de Geografia (USP)**, v.5, p. 7-24, 1991.

ROSS, J. L. S. Análise empírica da fragilidade dos ambientes naturais e antropizados. **Revista do Departamento de Geografia**, São Paulo: FFLCH-USP, p. 63 – 74, 1994.

ROSS, J. L. S. Superfícies de Erosão ou Erosão Química nos Processos de Esculturação dos Planaltos do Leste Paulista. **Geosul**, v.1, n.1, p. 688-691, 1996.

- ROSS, J. L. S. O Relevo Brasileiro nas Macroestruturas Antigas. **Revista Continentes**, v.1, n.2, p. 8-27, 2013.
- ROSS, J. L. S. O Relevo Brasileiro no contexto da América do Sul. **Revista Brasileira de Geografia**, Rio de Janeiro, v. 61, n. 1, p. 21-58, 2016.
- RUDDIMAN, W. F. **Earth's Climate: Past and Future**. New York: W.H. Freeman, 2008.
- RUELLE, D. **Azar y caos**. Madrid: Alianza, 1993.
- SAADI, A. Neotectônica da Plataforma Brasileira: esboço e interpretações preliminares. **Revista Geonomos**, v.1, p. 1-15, 1993.
- SALAMUNI, E. **Tectônica da Bacia Sedimentar de Curitiba-PR**. 1998. Tese (Doutorado em Geociências) – Instituto de Geociências-UNESP, Rio Claro.
- SALGADO, A. A. R; VARAJAO, C. A. C; COLIN, F. Estimativa das Taxas de Erosão das Terras Altas da Alta Bacia do Rio das Velhas no Quadrilátero Ferrífero: Implicações para Evolução do Relevo. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v.8, n.2, p. 3-10, 2007.
- SALIM, J.; SOUZA, C. J.; MUNIZ, G. C. B. et al. Novos subsídios para a elucidação do episódio “Barreiras” no Rio Grande do Norte. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA, 7, 1975, Fortaleza. **Anais...** Fortaleza: SBG, 1975.
- SALLUN FILHO, W. **Geomorfologia e Geoespeleologia do Carste da Serra da Bodoquena, MS**. 2005. Tese (Doutorado em Geociências) – Programa de Pós-Graduação em Geoquímica e Geotectônica, Universidade de São Paulo, Instituto de Geociências, São Paulo.
- SÁNCHEZ, L. H. et. al. **Guia de boas práticas ambientais na mineração de calcário em áreas cársticas**. Campinas: Sociedade Brasileira de Espeleologia, 2016.
- SÁNCHEZ, R. O.; SILVA, T. C. Zoneamento ambiental: uma estratégia de ordenamento da paisagem. **Cadernos de Geociências**, Rio de Janeiro, n.14, p. 47-53, 1995.
- SANTOS, M. **A Natureza do Espaço: Técnica e Tempo, Razão e Emoção**. São Paulo: Hucitec, 1998.
- SANTOS, M. **Pensando o espaço do homem**. São Paulo: Hucitec, 1997.
- SANTOS, M. J. S. et. al. Biomonitoramento através de indicadores ambientais abióticos - Mata do Junco (Capela-SE). **Scientia Plena**, n. 3, p. 142-151, 2007.
- SANTOS, R. A. et. al. **Programa Levantamentos Geológicos Básicos; carta geológica, carta metalogenética/previsional – escala 1:100.000**. Projeto Carira. DNPM/CPRM, 1988.
- SANTOS, R. A. et. al. **Geologia e Recursos Minerais do Estado de Sergipe**. Brasília: CPRM, 2001.
- SANTOS, R. F. **Planejamento Ambiental: teoria e prática**. São Paulo: Oficina de textos, 2004.
- SANTOS, R. F. et. al. A construção de cenários e a mudança temporal da cobertura vegetal na Bacia Hidrográfica do Rio Taquari (MS/MT). In: VI CONGRESSO DE ECOLOGIA DO BRASIL, 2003, Fortaleza. **Anais...** Fortaleza: SEB, 2003.

SCHALLER, H. Revisão Estratigráfica da Bacia de Sergipe-Alagoas. **Boletim de Geociências Petrobras**, Rio de Janeiro, v. 12, n. 1, p. 21 - 86, 1969.

SCHIER, R. A. Trajetórias do conceito de paisagem na geografia. **Revista Ra'e Ga**, Curitiba, n.7, p.79-85, 2003.

SCHNEIDER, T.; BISCHOFF, T.; HAUG, G. H. Migrations and dynamics of the intertropical convergence zone. *Nature*, 513, p. 45–53, 2014.

SIAL, A. N. et. al. C-Sr-isotope and Hg chemostratigraphy of Neoproterozoic cap carbonates of the Sergipano Belt, Northeastern Brazil. **Precambrian Research**, n. 182, p. 351-372, 2010.

SIFEDDINE, A. et al. A 21.000 cal years paleoclimatic record from Caçó Lake, northern Brazil: evidence from sedimentary and pollen analyses. **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology**, v. 189, p. 25-34, 2003.

SILVA, A. M.; SCHULZ, H. E. CAMARGO, P. B. **Erosão e hidrossedimentologia em bacias hidrográficas**. São Carlos: Rima, 2003.

SILVA, V. P. Paisagem: concepções, aspectos morfológicos e significados. **Sociedade & Natureza**, v.19, n.1, p.199-215, 2007.

SILVA FILHO, M. A. et. al. A geossinclinal sergipana: estratigrafia, estrutura e evolução. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 30. **Anais...** Recife, 1978.

SILVA FILHO, M. A. et. al. **Geologia da geossinclinal sergipana e do seu embasamento: Projeto Baixo São Francisco/ Vaza Barris**. Brasília: DNPM, 1979.

SIMON, H. A. Prediction and prescription in systems modeling. **Operations Research**, Baltimore, v. 38, n.1, p.7-14, 1990.

SOTCHAVA, V. B. **O Estudo dos geossistemas**. São Paulo: Métodos em Questão, 1977.

SOUZA, C. S. **O Papel do zoneamento ambiental no planejamento municipal**. PIDCC, Aracaju, Ano II, Edição n. 4, p. 154 a 175, 2013.

STACEY, R. D. **Pensamento estratégico e gestão de mudança**. Lisboa: Dom Quixote, 1998

STEWART, I. **Será que Deus joga dados? A nova matemática do Caos**. Rio de Janeiro: Jorge Zahar Editor, 1991.

STINE, S. Extreme and persistent drought in California and Patagonia during medieval time. *Nature*, v. 369, p. 546–549, 1994.

STRAHLER, A. N. **Geografia Física**. Barcelona: Ediciones Omega, 1982.

STRÍKIS, N. M. et. al. Abrupt variations in South American monsoon rainfall during the Holocene based on a speleothem record from central-eastern Brazil. **Geology**, n. 39, p. 1075-1078, 2011.

SUGUIO, K. **Geologia Sedimentar**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2010.

SUGUIO, K. et. al. Dados preliminares sobre as idades paleomagnéticas do Grupo Barreiras e da Formação São Paulo. **Revista Brasileira de Geociências**, São Paulo, n. 16, p. 171-175, 1986.

SWEETING, M. M. **Karst landforms**. London: Mackmillan, 1972.

TEIXEIRA, W. et. al (org.). **Decifrando a Terra**. São Paulo: Oficina de Textos, 2000.

TIERNEY, J. E. et al. Model, proxy and isotopic perspectives on the East African Humid Period. **Earth and Planetary Science Letters**, v. 307, p. 103–112, 2011.

TRAVASSOS, L. E. P. **Considerações sobre o carste da região de Cordisburgo, Minas Gerais, Brasil**. Belo Horizonte: Tradição Planalto, 2010.

TRICART, J. **Ecodinâmica**. Rio de Janeiro: IBGE/ SUPREN, 1977.

TROPPEMAIR, H. **Biogeografia e Meio Ambiente**. Rio Claro: Technical Books, 2000.

TURNER, M. G. Et. al. **Landscape Ecology in theory and practice: pattern on process**. New York: Springer Verlag, 2001.

UCEDA, A. C. Patrimonio geológico; diagnóstico, clasificación y valoración. In: SUAREZ-VALGRANDE, J. P. (Coord.). **Jornadas sobre Patrimônio Geológico y Desarrollo Sostenible**. España: Ministério de Medio Ambiente, 2000.

UHLEIN, A. et. al. Estratigrafia e evolução sedimentar de diamictitos e carbonatos neoproterozóicos no Domínio Vaza-Barris, Faixa de Dobramentos Sergipana, Nordeste do Brasil. **Geonomos**, n. 19, v. 1, p. 1-9, 2011.

UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME – WORLD CONSERVATION MONITORING CENTRE (UNEP-WCMC). **State of the World's Protected Areas 2007: An Annual Review Of Global Conservation Progress**. Cambridge, 2008.

UTIDA, G. **Variações Paleoambientais e Paleoclimáticas durante o Holoceno no Rio Grande do Norte a partir do estudo de registros Geoquímicos de sedimentos de lagos e cavernas**. 2016. Tese (Doutorado em Geociências) - Programa de Pós-Graduação em Geoquímica e Geotectônica, Universidade de São Paulo, São Paulo.

VAN BEYNEN, P. E.; TOWNSEND, K.M. A disturbance index for karst environments. **Environmental Management**, n. 36, p. 101-116, 2005.

VAN BREUKELLEN, M. R., et. al. . Fossil dripwater in stalagmites reveals Holocene temperature and rainfall variation in Amazonia. **Earth and Planetary Science Letters**, 2008.

VAN SCHMUS, W. R. et. al. U/Pb and Sm/Nd geochronologic studies of the eastern Borborema Province, Northeast Brazil: initial conclusions. **Journal of South American Earth Sciences**, n. 8, p. 267-288, 1995.

VERA, C. Et. al. The South American Low-Level Jet Experiment. **Bull. Am. Meteorol. Soc.**, n. 87, p. 63–77, 2006

VENTURI, L. A. B. A dimensão territorial da paisagem geográfica. In: VI CONGRESSO BRASILEIRO DE GEÓGRAFOS – AGB, 2004, Goiânia. **Anais...** Goiânia, 2004.

VESTENA, L. R. et. al. Considerações sobre gestão ambiental em áreas cársticas. **Revista RA'E GA**, Curitiba, n. 06, p. 81-93, 2002.

VIANA, J. et al. A late Holocene paleoclimate reconstruction from Boqueirão Lake sediments, northeastern Brazil. **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology**, v. 415, n. 117126, 2014.

VILAS BOAS, G. S. As coberturas Paleozóicas e Mesozóicas. In: BARBOSA, J. S. F.; DOMINGUEZ, J. M. L. (Coords.) **Geologia da Bahia: texto explicativo**. Salvador: SGM, 1996.

SICT/UFBA/SGM/FAPEX. Anexo I Mapa Geológico do Estado da Bahia, escala 1:1000.000.

VILLELA, S. M.; MATTOS, A. **Hidrologia Aplicada**. São Paulo: Editora Mc Graw Hill, 1975.

VITAL, S. R. O.; FURRIER, M.; SILVEIRA, T. A. Evidências de Carste Urbano: o caso da Lagoa Antônio Lins no bairro de Cruz das Armas, João Pessoa, Paraíba. In: VIII SIMPÓSIO NACIONAL DE GEOMORFOLOGIA, I ENCONTRO ÍBERO-AMERICANO DE GEOMORFOLOGIA, III ENCONTRO LATINO AMERICANO DE GEOMORFOLOGIA e I ENCONTRO ÍBERO-AMERICANO DO QUATERNÁRIO, 2010, Recife. **Anais...** Recife, 2010.

WALDROP, M. M. **Complexity**. New York: Touchstone Book, 1992.

WANG, W. et. al. An analysis on spatial variation of urban human thermal comfort in Hangzhou, China. **Journal of Environmental Sciences**, v. 16, n. 2, p. 332-338, 2004.

WANG, X. L., et. al. Climatology and changes of extratropical storm tracks and cyclone activity: Comparison of ERA-40 with NCEP/NCAR Reanalysis for 1958- 2001. **J. Clim.**, 19, p. 3145-3166, 2006.

WANNER, H. et al. Holocene climate variability and change; a data-based review. **Journal of the Geological Society**, v. 172, p. 254-263, 2015.

WHITE, W.B. **Geomorphology and hydrology of karst terrains**. New York: Oxford University Press, 1988.

WHITE, W. B. Development of Speleogenetic Ideas in the 20th Century: The Modern Period: 1957 to the Present. In: KLIMCHOUK, B. A. et. al. (editors). **Speleogenesis - Evolution of Karst Aquifers**. Huntsville: National Speleological Society, 2000.

WOOD JUNIOR, T. Caos: A Criação de uma nova Ciência? As aplicações e implicações da Teoria do Caos na Administração de Empresas. **Revista de Administração de Empresas**, São Paulo, n. 33, p. 94-105, 1993.

YENTES, J. M. et. al. The appropriate use of approximate entropy and sample entropy with short data sets. **Annals of biomedical Engineering**, n. 41, p. 349-365, 2013.

ZOCATELLI, R. et al. Late Holocene paleoenvironmental changes in Northeast Brazil recorded by organic matter in lacustrine sediments of Lake Boqueirão. **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology**, v. 363-364, p. 127-134, 2012.